

Földmágneses esettanulmányok a Balatonfelvidékről, a Duna–Tisza közéről és a Tokaji-hegység területéről*

KISS J.[@], VÉRTESY L.[&], GULYÁS Á.[#]

Magyar Földtani és Geofizikai Intézet (MFGI), 1143 Budapest, Stefánia út 14.

[@]E-mail: kiss.janos@mfgi.hu, [&]E-mail: vertesy.laszlo@mfgi.hu, [#]E-mail: gulyas.agnes@mfgi.hu

A cikkben magmás testek helyzetének meghatározását mutatjuk be három magyarországi esettanulmányon keresztül. A vizsgálatok során alapvetően a mágneses adatokat és feldolgozásokat alkalmaztunk, de a szeizmikus és gravitációs adatok és feldolgozások is a segítségünkre voltak. A geofizikai adatok és komplex feldolgozások alapján a pannóniai bazalt és miocén andezit testek helyzetéről, elhelyezkedéséről kapunk a korábbiaknál sokkal pontosabb képet.

Kiss, J., Vértesy, L., Gulyás, Á.: Geomagnetic case studies from the Balaton Highland, the Danube–Tisza interfluvium and the Tokaj Mountains

In this article the localizations of magnetic bodies are presented utilizing case histories of three different regions of Hungary. We applied mainly the magnetic data and magnetic processing steps in the course of the examinations, but the seismic and gravity data and their processing also helped us in the interpretation. Using these data and their complex processing we obtained a much more accurate image than the previous one for the Pannonian basaltic and Miocene andesitic bodies of the studied regions.

Beérkezett: 2017. március 6.; *elfogadva:* 2017. március 29.

Bevezetés

A jelentős mennyiségű magnetitot tartalmazó kőzettestek lehatárolásának alapvető eszköze a földmágneses mérés. Magyarország teljes területéről – viszonylag egyenletes fedettségben – már az 50-es évek óta elérhetőek a mágneses adatok. Az ország egészéről 2006-ban került kiadásra a mágneses anomália-térkép (Kiss, Gulyás 2006) legújabb változata. A mögötte álló mágneses adatrendszer feldolgozása számos tudományos és ipari célú munka alapja volt (Pozsgay 1962, 1966a, 1966b, 1967, Zelenka et al. 2012, Kiss 2009, 2013, 2015). Mindazonáltal az új feldolgozási módszerek alkalmazása és az újabb földtani-geofizika információkkal történő együttes értékelés sokkal pontosabb eredmények elérését teszi lehetővé.

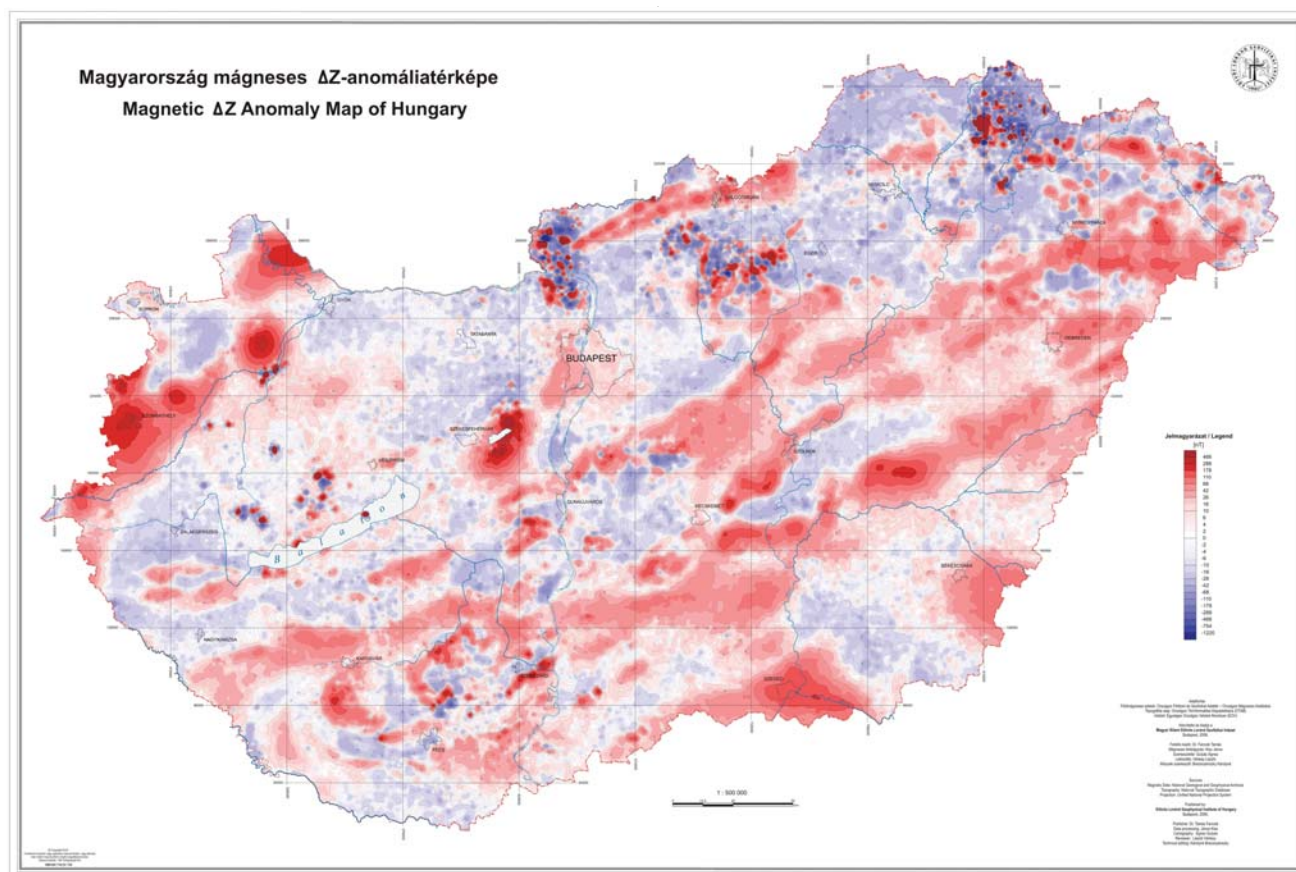
Alapok

A mágneses anomália-térkép

Az első mágneses ΔZ -anomáliatérkép nyomdai kiadása Haáz István és Komáromy István (1966) nevéhez fűződik. Ez a (45 000 mérési pontból álló) térképi adatrendszer képezte a digitális mágneses adatbázis alapját. Az adatbázisban lévő ΔZ mérési adatok száma a részletező méréseknek köszönhetően mára közel megduplázódott. A 60-as években az adatok feldolgozása területrészenként kézi interpolálással történt, majd a résztérképeket szintén kézi úton dolgozták össze.

A 2006-ban megjelent mágneses térkép (*1. ábra*) esetében a fő hangsúly az összes adat együttes kezelése mellett a

* A „Magyarhoni Földtani Társulat Földtudományi Vándorgyűlése és Kiállítása” rendezvényen (Sárospatak, 2016. augusztus 24–27.) elhangzott előadás kibővített változata



1. ábra | Nyomdai kiadásban megjelent, M=1 : 500 000 méretarányú mágneses ΔZ -anomáliatérkép (Kiss, Gulyás 2006)
Figure 1 | Magnetic Anomaly Map of Hungary, published in scale 1 : 500 000 (Kiss, Gulyás 2006)

kis amplitúdójú mágneses hatások kiemelésén volt. A térképen a nagytekonika irányába rendeződött mágneses anomália-vonulatok rejtélye a litoszférakutató szeizmikus szelvények mérési eredményei alapján látszik megoldódni (Kiss et al. 2015, Kiss 2015, Kiss 2016).

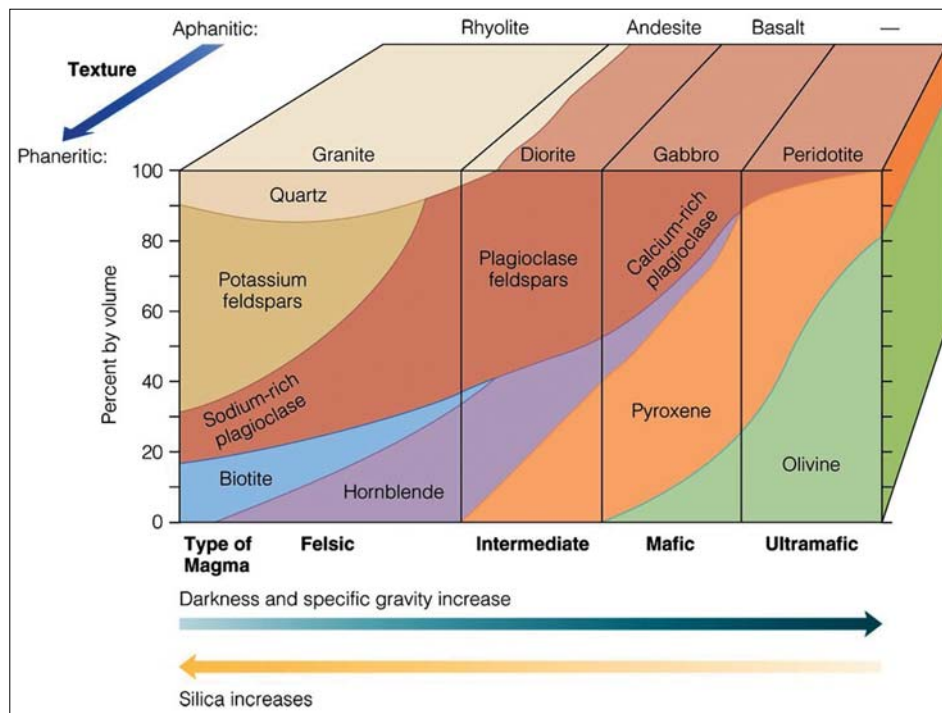
Mágneses földtani képződmények, a hatók

Mágneses adatfeldolgozás szempontjából a legfontosabbak a magmás kőzetek, mivel közöttük vannak a legerősebben mágnesezett képződmények. Ide tartoznak, a bázikus mély-

1. táblázat | A mágneses magmás és metamorf képződmények táblázata (Ravasz, Kovács 1977, Pantó 1976 alapján, módosítva). a) Szubvulkáni bázisos összetételű magmás kőzet (mikrogabbro); b) átalakult dolerit, mikrogabbro illetve bazalt (metadolerit, metamikrogabbro, metabazalt); c) bazaltvulkanizmusból kialakuló effúzív kőzet; d) metamorfizálódott diabáz; e) szerpentin akkor keletkezik, ha vizes környezetben (például óceáni litoszféra), a bázikus és ultrabázikus magmás kőzetek olivin és piroxén ásványai átalakulnak szerpentin ásványokká

Table 1 | Table of the different magmatic and metamorphic formations (after Ravasz, Kovács 1977 and Pantó 1976, modified)

Mágmás kőzetek								
Típus	Túltelített		Telített		Telítetlen			
Keletkezési hőmérséklet	600	750	850	950	1600			
Mélységi	gránit,	granodiorit, tonalit	szienit	diorit, monzonit	gabbró norit	nefelin-szienit	piroxenit, peridotit, dunit	
Kiömlési	paleo-neo-	kvarcporfir riolit	kvarcporfirrit dácit	ortofir trachit	profirrit andezit	dolerit ^{b)} , bazalt, diabáz ^{b)}	fonolit ^{c)} , pikrit	kimberlit, nefelinbazanit
Átalakult kőzetek								
Metamorf	gneisz		kloritpala		zöldpala ^{d)} , szerpentin ^{e)} , amfibolit, granulit, eklogit			

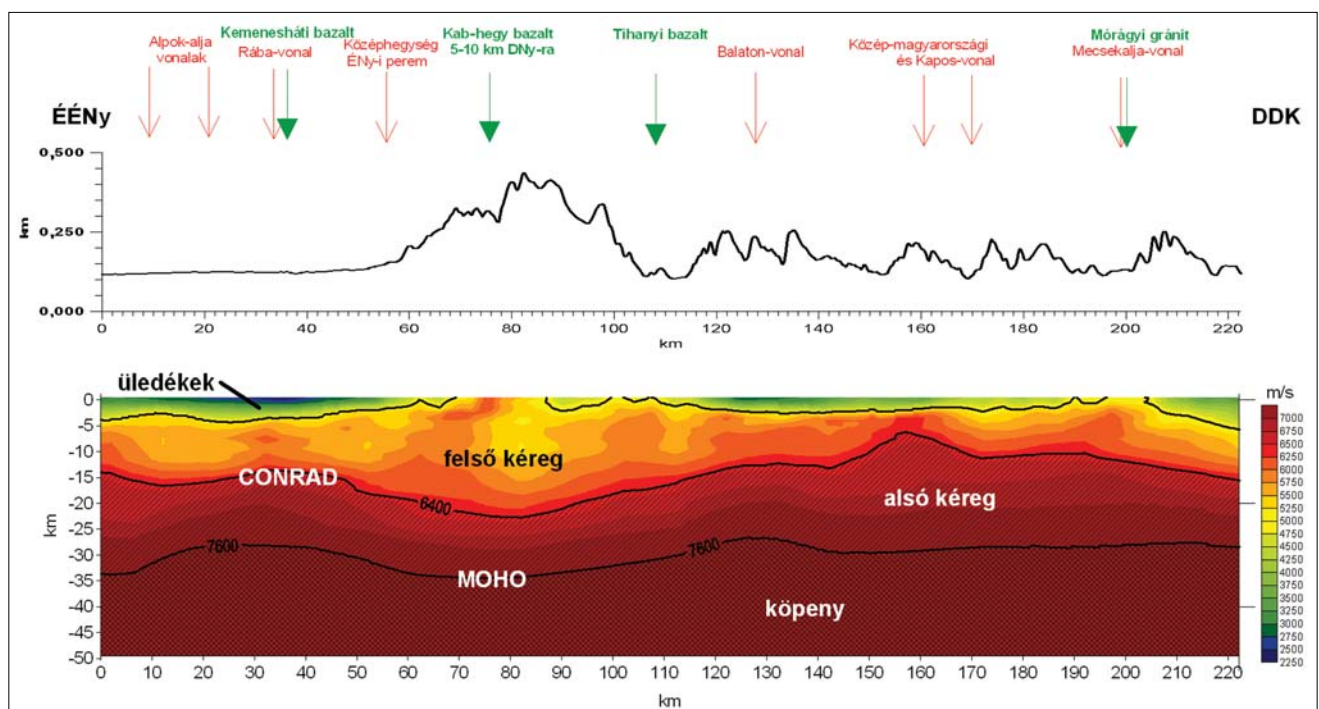


2. ábra Magmás kőzetek klasszifikációja (www.geologyin.com) (A sötét elegyrészek növekedése a sűrűség, és mágneses paraméterek megnövekedéséhez vezet)

Figure 2 Classification of magmatic rocks (www.geologyin.com) (Density and magnetic parameters increase by the increasing ratio of dark components)

ségi és kiömlési kőzetek, azokon belül is elsősorban a láva-képződmények.

Másik fontos csoport a metamorf képződményeknek az a csoportja, amelyeknek eredeti kiindulási kőzetei bázisos



3. ábra CEL08 litoszférakutató szeizmikus szelvény. Helyszíni adatok és domborzat (felül), szeizmikus sebességszelvény és értelmezett litoszféraképződmények (alul)

Figure 3 Lithosphere exploration profile CEL08. Topography and location data (above) seismic velocity section and interpreted lithosphere elements (below)

összetételű magmás kőzetek vagy a metamorf átalakulás során mágnesssé vált képződmények voltak.

Az 1. táblázat kőzeteit vizsgálva, balról jobbra haladva, a sötét elegyrészek (pl. magnetit) növekedése jellemző. A sötét elegyrészek mennyiségi növekedése egyben a mágneses anyagtartalom (vastartalom) és a sűrűség megnövekedését is jelenti.

Kicsit leegyszerűsítve a dolgot azt mondhatjuk, hogy minél nagyobb a sötét elegyrészek aránya az adott kőzetben, annál valószínűbb, hogy a kőzetnek mágneses hatása is van, azaz mágneses hatóként fog jelentkezni a mágneses mérések során.

Egy amerikai geológiai honlapon jelent meg a 2. ábra, amely az 1. táblázatnak megfelelő felosztást mutatja be szemléletesen, jelezve az összetételbeli változásokat is. Az ábráról látszik, hogy magas olivin-, piroxén- és Ca-plagioklástartalom jellemzi a mágneses hatóként megjelenő magmás képződményeket.

Vizsgálódásunk tárgya a magyarországi bázisos magmás és bázisos metamorf kőzetek csoportja, azaz az 1. táblázat jobb oldalán megjelenő képződmények összessége

sen, egy sor mágneses anomáliát is érintve keresztezte a Dunántúlt, kiváló lehetőséget biztosítva a kéregbeli mágneses hatók megismerésére.

A szeizmikus sebességeloszlás (3. ábra) alapján nagy sebességű zónák rajzolódhatnak ki, amelyek egészen a felszínig (medencealjzatig) nyúlnak. A zónák és az ismert tanúhegyek között kapcsolat látszik. Több esetben mágneses anomália is található a nagy sebességű zónák közvetlen közelében.

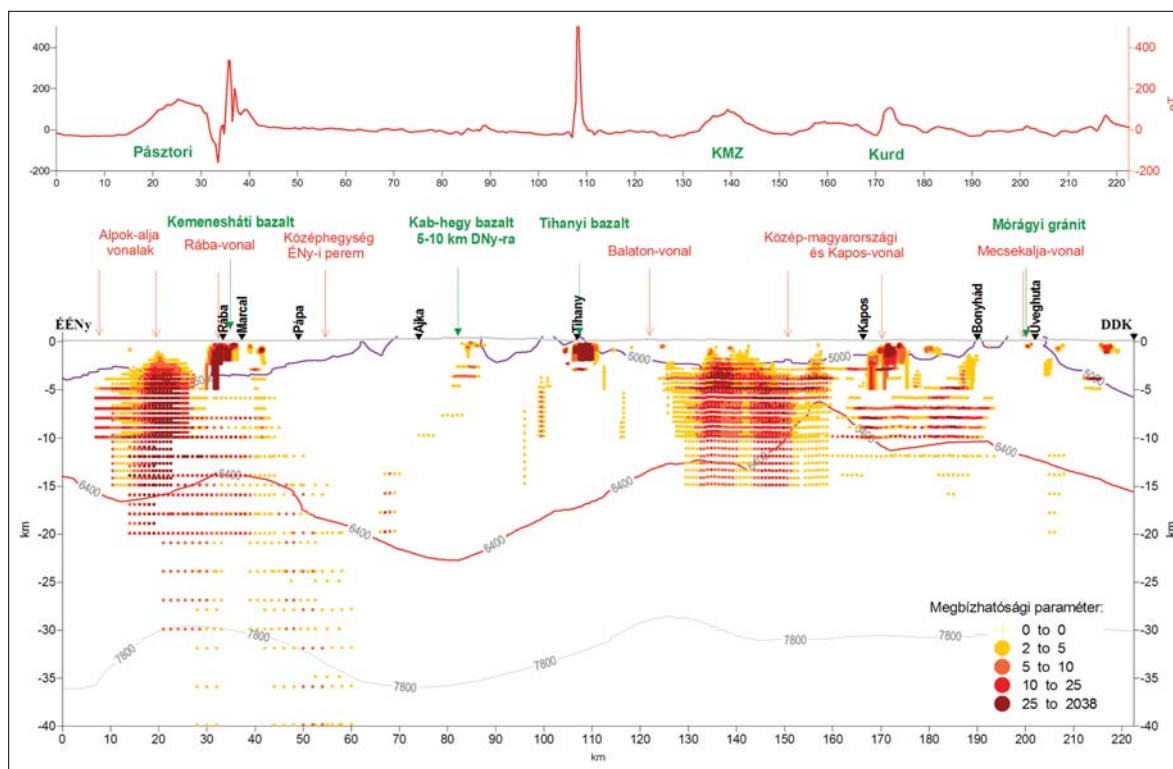
A szelvény mentén mágneses anomáliák regionális léptékben jelzik a mágneses hatók közelítő helyét. A hatók mélységére a hagyományos értelmezés során az anomáliák nagysága és térfrekvenciája utalt.

A Naudy-dekonvolúció alkalmazásával (a mágneses hatók automatikus kijelölésével) a hatók mélységi elhelyezkedésére kaptunk adatokat. Az algoritmus szubjektív elemek nélkül közvetlenül a kétdimenziós geometriát határozza meg a mágneses anomália menetéből, azaz az x, y mellé megkapjuk a közelítő z koordinátát is (Kiss, Prácser 2016). A különböző mintavételi távolságok és szűrőméretek mellett elvégzett feldolgozások megbízhatósági paraméter alapján rangsorolt megoldásai jelzik a mágneses testek legvalószínűbb helyzetét (4. ábra). A Naudy-féle automatikus feldolgozási eljárás sok egyedi megoldást ad, de megbízhatósági kritériumok alkalmazásával a megoldások száma szűkíthető, a mágneses hatók geometriai leképzése javul, a testek várható mélysége és mérete pontosabb lesz. Korábban egyetlen feldolgozási eljárás sem adott ehhez hasonló részletességű információt a mélybeli mágneses hatókról. A 4. ábrán nem egy szondázó típusú geofizikai mérés eredményét látjuk, hanem térképező mágneses felmérés egyedi

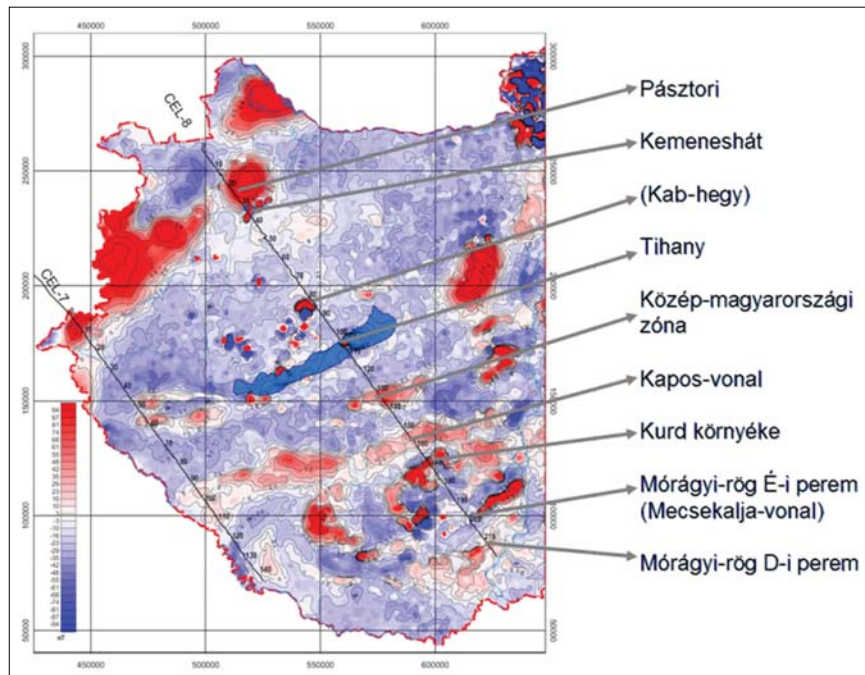
Esettanulmányok

CEL08 – kéregbeli mágneses hatók kimutatása

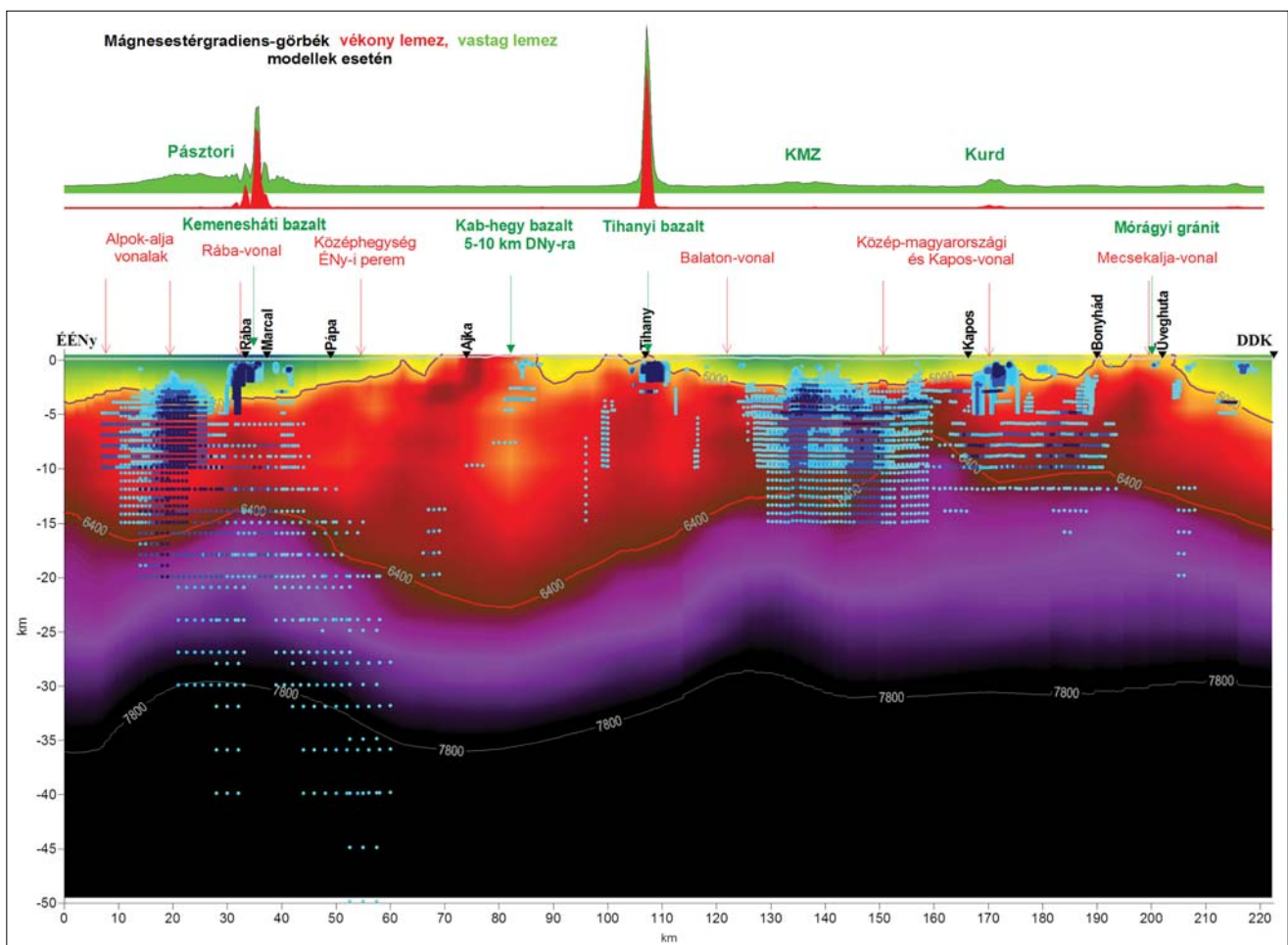
A CELEBRATION litoszféra kutató program szeizmikus refrakciós tomografikus mérésének egyik szelvénye a Balatonfelvidéken át, a nagyszerkezeti irányokra merőlege-



4. ábra | Mágneses anomáliák (felül) és hatók a Naudy-feldolgozások alapján (alul) a CEL08 szelvény mentén
Figure 4 | Magnetic anomalies (above) and magnetic bodies based on the Naudy-solutions (below) along the CEL08 profile



5. ábra | Dunántúl mágneses anomália-térképe, a CEL08 szelvény menti anomáliák földrajzi azonosításával
Figure 5 | Magnetic anomaly map of Transdanubia and geographical identification of magnetic anomalies along CEL08 seismic profile



6. ábra | CEL08 szeizmikus sebességszelvény mágneses Naudy-megoldásokkal (alul) és térgradiens-görbékkel (felül)
Figure 6 | Naudy-solutions along the seismic velocity section of CEL08 (below) and anomalies of 2D analytical signals (above)

mérési adatait dolgoztuk fel a szelvény mentén a spektrálisan szűrt adatokon is, eltérő mintavételi távolsággal, különböző szűrőméretekkel.

A szelvényen ÉNy-ról DK-re haladva, földrajzi helyekhez (5. ábra), ismert földtani képződményekhez kapcsolhatók a mágneses anomáliák, illetve mélybeli mágneses hatók. A szelvény nem ment át a Kab-hegyen (nyomvonala a központi csúctól ÉK-re 5–10 km-re volt), így a bazaltok hatása közvetlenül nem érződik a CEL08 szelvény feletti mágneses anomália-görbén. A szeizmikus sebességszelvényen a Kab-hegy alatt 15 km-es mélységig egy nagy sebességű, közel függőleges zóna (csatorna) látszik, amely a mélybeli bazaltokkal lehet kapcsolatban. Ez a nagy sebességű zóna és az ennek megfelelő rajzolatú mágneses Naudy-megoldások egymáshoz képest eltolódva jelentkeznek (6. ábra). Az okokra később visszatérünk.

Egyszerűbb anomáliagörbe-rajzolatok eléréséhez analitikus jelképzést (Nabighian 1972, 1974) is alkalmaztunk. Az analitikus jel az irányderiváltak vektorösszegzése miatt a számításából adódóan csak pozitív értékeket eredményez. A kapott analitikus jelgörbéken csak ott van nullától különböző érték, ahol mágneses hatás van, kicsit hasonlóan a gravitációhoz.

Ezt a feldolgozási eljárást magyarul totálgradiens- (x , y , és z deriváltak felhasználása esetén térgradiens-) számításnak szoktuk nevezni. Kiszámoltuk az analitikus jelet az eredeti anomáliaértékek alapján és a horizontális gradiensek alapján is (6. ábra).

Láthatjuk a felszíni bazaltokat (Kemeneshát, Tihany) mindkét görbe alapján, de megjelennek a mélyebben elhelyezkedő mágneses testek is mint a Pásztori környéki

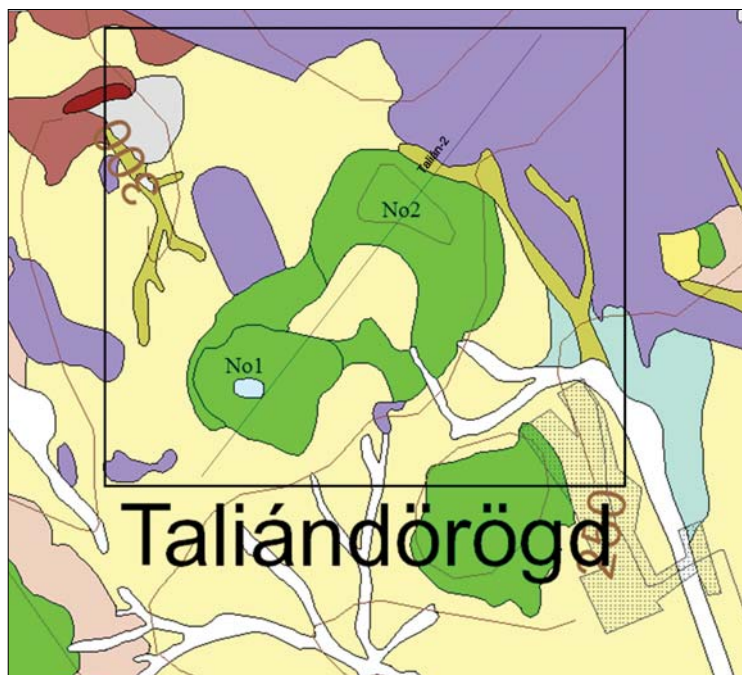
hatók (legnagyobb anomália), a Közép-magyarországi zóna hatói (még azonosíthatóan) és a Kurd környéki lokális mágneses ható képződményei. Ezeket a mélyebb hatókat azonban már inkább csak a zöld görbe alapján tudjuk azonosítani (6. ábra). Minél kiterjedtebb és nagyobb a zöld színű anomália, annál mélyebb a Naudy-megoldások alapján kapott mágneses ható.

Az analitikus jelanomáliákból leszűrt következtetések és a Naudy-megoldások megerősítik egymást, ugyanazokat a jellegzetességeket mutatják. A Naudy-megoldások alapján mélynek jelzett hatók kis amplitúdójú, elkent térgradiens-anomáliát okoznak, míg a felszínközeli lokális, nagy amplitúdójú anomáliákat. Persze a térgradiens-anomáliák a pontos mélységet nem adják, míg a Naudy-megoldások a legvalószínűbb hatómélységet is megadják.

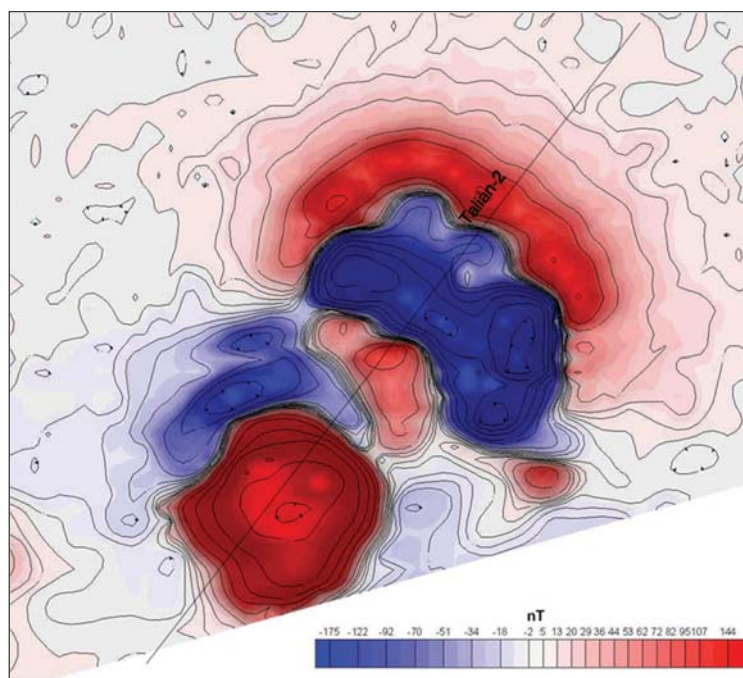
A mágneses hatók azokon a területeken jelentkeznek, ahol a sebességek alapján a felső kéregben alsó kéregre jellemző, nagy sebességű zónák (kiemelkedések) tapasztalhatók (Kiss et al. 2015, Kiss 2015). Nyilván ezek a köpeny-kiemelkedések adják meg, hozzák felszínközeli a felszínen ismert magmás képződmények bázisos alapanyagát.

A bazalt tanúhegyek vizsgálata

A légi geofizikai mérések két nagyságrenddel sűrűbb mágneses adatrendszerrel lehetővé teszi a felszíni, felszínközeli hatók részletesebb vizsgálatát. Az 1989. évi halimbai bauxitkutató légi geofizikai mérés területének D-i peremén bazaltos előfordulások felett is mértünk. Taliándörögd falutól É-ra (és Ny-ra) található ezek a felszínen is azonosítható pannóniai korú bazaltképződmények (7. ábra).



7. ábra Taliándörögd környéki bazalt-előfordulások (zöld polygonok) a vizsgált légi mérési terület kivágatával (Gyalog, Síkhegyi 2005, <https://map.mfgi.hu/fdt100/>)
Figure 7 Near surface basaltic bodies (green polygons) near Taliándörögd (Gyalog, Síkhegyi 2005, <https://map.mfgi.hu/fdt100/>)



8. ábra | Mágneses (ΔT) anomáliák Taliándörögdől É-ra és a Talián-2 szelvény nyomvonala
Figure 8 | Magnetic anomalies North of Taliándörögd and the location of Talián-2 profile

Felszínről is ismert lokális testekről van szó, egyszerű geometriával, ami a légi mágneses adatok feldolgozása szempontjából kedvező. Összetett, pozitív–negatív mágneses (ΔT) anomáliák rajzolódnak ki a bazalttestek/mágneses dipólok felett (8. ábra). Az eltérő hatók és azok anomáliaterének elkülönítése nem egyszerű. Ebben segítségünkre lehet a szimmetriatengelyek meghatározása, ami alapján az eredő mágnesezettségre következtethetünk. A szimmetriatengelyek a fő mágnesezettségi (deklinációs) irányt adják meg. Ez egyszerű geometriájú hatók esetén az anomália rajzolatából meghatározható. A hatók általában bonyolult geometriával rendelkeznek, így ez a művelet a gyakorlatban sokszor nem kivitelezhető.

Taliándörögd esetében két szimmetriatengely jelölhető ki az extrémumok előjelének figyelembevételével. Az egyik, a DNY-i anomáliapár esetében a 350–355°-os, míg az ÉK-i

anomáliák esetében a 200–210°-os irány. Ezek az irányok a testek eredő mágnesezettségének (J_e) irányát mutatják, ami az indukálthoz képest domináns remanens mágnesezettség esetén (azaz $J_r \gg J_i$) a bazaltképződés idejének paleomágneses pólushelyzetét adja meg.

A mágneses anomália-tér alapján azonosítható két szimmetriatengely jelzi, hogy legalább két ható van, és a bazalttestek (7. ábra) eredő mágnesezettsége eltérő. Az anomáliaképet az is bonyolítja, hogy a két test mágneses hatása szuperponálódik (vektorosan összeadódik), amelynek a mértékét nehéz megítélni és korrekcióba venni.

Vannak persze más lehetőségek is, például digitális feldolgozási eljárások. A mágneses hatók kimutatásához szokták használni a pszeudogravitációs transzformációt. Ennek azért lehet szerepe, mert a mágneses ásványok sűrűsége a kéreg 2,67 g/cm³-es átlagsűrűségénél jóval nagyobb (2. tábl-

2. táblázat | Mágneses ásványok (balra) és a mélységi magmás közet sűrűsége, savanyútól a bázisosig (jobbra)

Table 2

Density of different magnetic minerals and different felsic and mafic intrusive rocks

Ásvány	Képlet	Sűrűség (g/cm ³)	Közet	Sűrűség (g/cm ³)
Magnetit	Fe ₃ O ₄	5,20	Gránit	2,6
Ulvöspinel	Fe ₂ TiO ₄	4,78	Granodiorit	2,7
Hematit	αFe ₂ O ₃	5,10	Szienit	2,8
Maghemit	βFe ₂ O ₃	4,88	Diorit	2,8
Trevorit	NiFe ₂ O ₄	5,26	Gabbro	2,9
Jakobzit	MnFe ₂ O ₄	4,87	Piroxenit	3,1
Magnezioferrit	MgFe ₂ O ₄	4,52	Peridotit	3,2
Ilmenit	FeTiO ₃	4,74	Dunit	3,3

lázat). Így egy földtani képződmény, amelynek mágneses hatása van és anomáliát okoz, az valószínűleg gravitációs hatással is bír, ami a fizikai paraméterek ismeretében kiszámítható.

A gravitációs potenciál és a mágneses potenciál (illetve erőterek) közötti kapcsolatot az Eötvös–Poisson-összefüggés írja le, melynek alapján az erőterek kölcsönösen átszámíthatóak egymásba (pszeudogravitációs transzformáció és pszeudomágneses transzformáció). A pszeudogravitációs anomália úgy adja vissza a mágneses hatót, mint ha egy gravitációs hatóval lenne dolgunk, és ebben az esetben a gravitációnál alkalmazott eljárások mindegyike használható lesz a mágneses ható kimutatására is (lásd később). A transzformáció során a mágnesezettség értékét sűrűségértékké alakítjuk át, ami ugyan nem egy abszolút eljárás, mivel egyrészt a paraméterek nem állandóak, másrészt nem is ismerjük azokat pontosan, de azért a művelet elvégzése hasznos. Elvileg a mágnesezettség irányát is ismernünk kellene, de csak a normál mágneses tér irányában (indukáló mágneses tér) lehetünk biztosak, a remanens mágnesezettség nagyságát és irányát többnyire nem ismerjük. A mágneses adatokon elvégzett transzformáció (normál mágnesezettséget feltételezve) eredménye esetünkben egy pszeudogravitációs maximum és egy pszeudogravitációs minimum (9. ábra), ami annak köszönhető, hogy a mágnesezettség iránya hatással van a transzformáció eredményére.

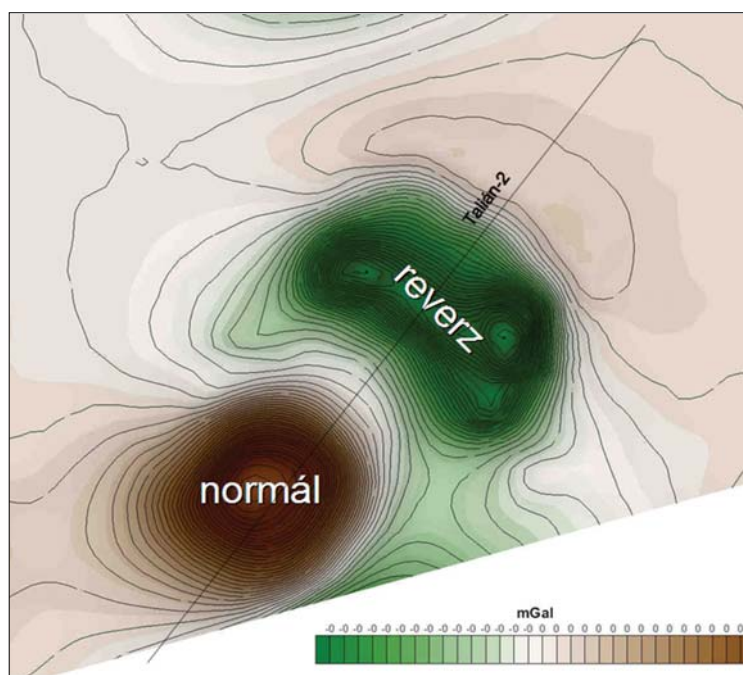
Pszeudogravitációs maximumot kaptunk ott, ahol a ható normál mágnesezettségű, de ahol a pszeudogravitációs anomália minimumot mutat, ott a mágnesezettségi irány ellentétes, ami reverz mágnesezettségű hatóra utal. A transzformáció során csak egy mágnesezettségi irányt lehet figye-

lembe venni, így csak az egyik ható esetében lehet „pontosan” beállítani a transzformációs paramétereket.

A Balatonfelvidéken elvégzett paleomágneses mérések (Márton, Szalay 1967, Dagley, Ade-Hall 1970, Márton 1985, Márton, Márton 1989) is kétféle, normál és reverz remanens mágnesezettséget határoztak meg a bazaltok esetében. A mérésekből kirajzolódó paleomágneses pólusok a jelenlegi földrajzi pólus körül helyezkednek el, és attól csak néhány mintavételi hely esetében térnek el.

A Königsberger-arány a pannon bazaltok esetében $Q = 3 \pm 9$ körüli (Takács 1976), tehát a remanens mágnesezettség felülírja az indukált mágnesezettséget, azaz az eredő mágnesezettség paramétereit a remanens mágnesezettség határozza meg. A fiatal magmás képződményekre jellemző a nagy Königsberger-arány, a kőzetek korával a Q értéke csökken. A paleomágneses mérések során meghatározott deklináció középértéke egy normálhoz közeli $D_1 = 8 \pm 15^\circ$, illetve egy reverz, ennek ellentétes $D_2 = 150 \pm 220^\circ$ irányt mutat. Az inklináció mért középértéke $I_1 = 50 \pm 65^\circ$ (gyakorlatilag az indukáló térrel azonos irányú), illetve annak az ellentéte $I_2 = -44 \pm -75^\circ$ (Márton, M. Szalay 1967, Dagley, Ade-Hall 1970, Márton 1985, Márton, Márton 1989). Ezek az értékek tehát egy normál (indukáló térrel azonos irányú) és egy reverz (indukáló térrel ellentétes irányú) remanens mágnesezettségű földtani időszakra utalnak. A kapott paleomágneses eredmények (a mintázás nagy száma – mintegy 315 db – miatt) a balatonfelvidéki bazaltokra általánosan jellemzőek lehetnek (3. táblázat).

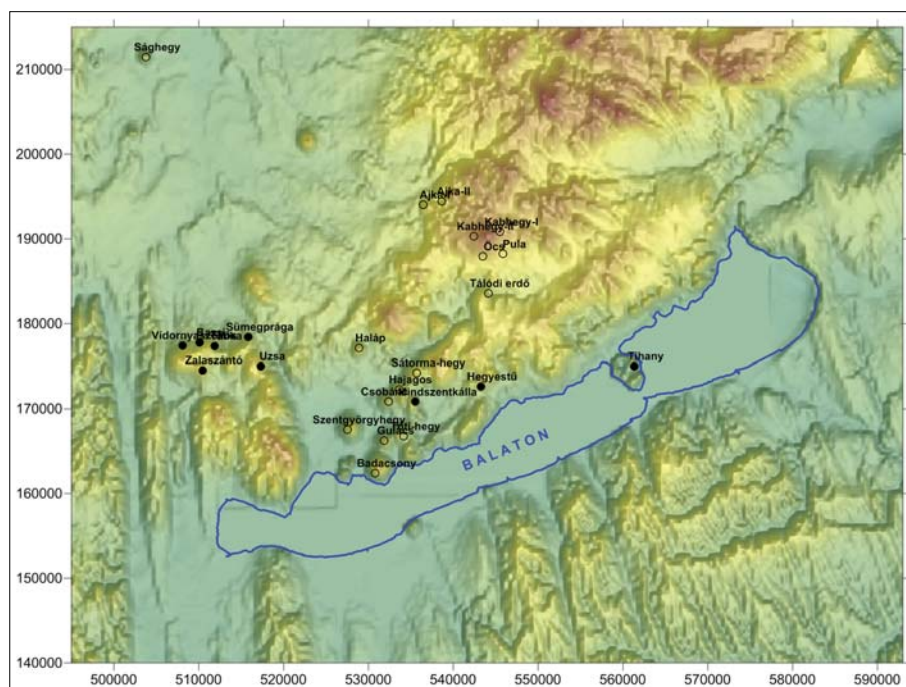
A különböző mágnesezettségű bazaltok sávos elhelyezkedést mutatnak, a normál mágnesezettségi irányt mutatók Vidornyaszőllőst és Tihanyt összekötő, K–Ny-i zónában azonosíthatók, míg a reverz irányúak Szigliget és a Kab-



9. ábra | A bazaltok feletti pszeudogravitációs maximum (barna) és minimum (zöld), valamint a Talián-2 szelvény nyomvonala
Figure 9 | Pseudo-gravity maximum (brown) and minimum (green) and the location of Talián-2 profile

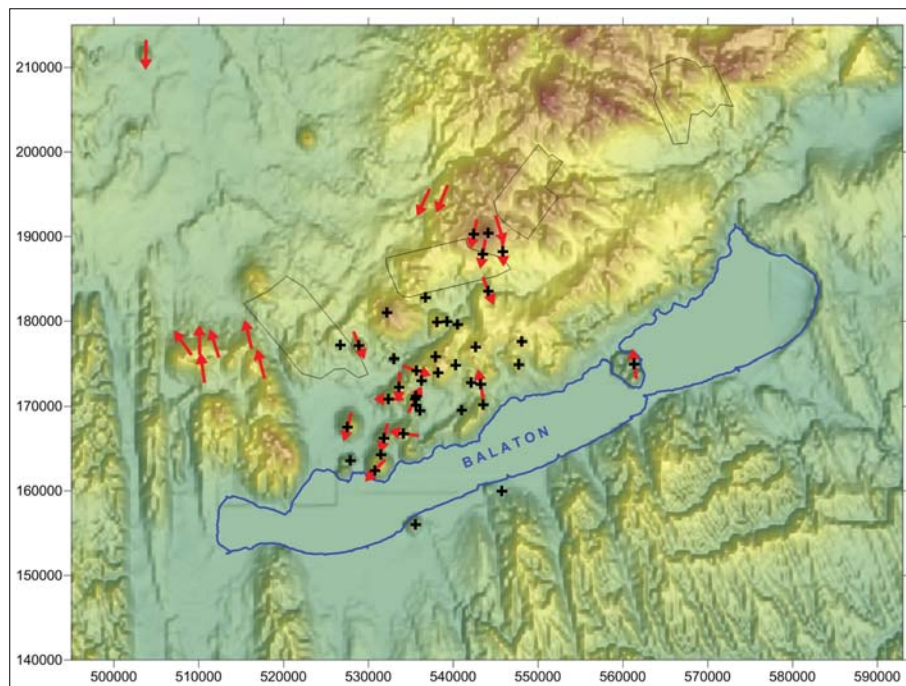
3. táblázat | Paleomágneses mérési eredmények a Balatonfelvidéken, 315 minta (Márton E. 1985)
Table 3 | Table of results of paleomagnetic measurements, 315 samples (Márton E. 1985)

EOV Y (m)	EOV X (m)	Azonosító	Név	Eredet	No.	D (közép)	I (közép)
527528	167549	1	Szentgyörgyhegy	kibúvás	32	165,10	-55,00
528881	177127	2	Haláp	kőfejtő	22	201,20	-53,40
531847	166271	3	Gulács	kőfejtő	19	166,15	-74,45
530779	162415	4	Badacsony	kőfejtő	15	137,95	-73,80
533593	172282	5	Hajagos	kőfejtő	40	177,35	-76,40
503755	211464	6	Ság-hegy	kibúvás	4	179,10	-72,90
545491	190831	7a	Kab-hegy-I	felső láva	2	196,80	-51,10
542407	190297	7b	Kab-hegy-II	alsó láva	27	167,47	-56,10
535704	174217	8	Sátorma-hegy	kibúvás	5	251,70	-33,60
544112	183573	9	Tálódi erdő	kibúvás	5	200,90	-47,50
534177	166784	10	Tóti-hegy	kőfejtő	8	81,10	-42,70
545847	188221	11	Pula	kibúvás	8	182,30	-41,90
543474	187924	12	Öcs	kibúvás	8	170,10	-59,50
536474	194035	13a	Ajka-I	kibúvás	9	155,10	-57,70
538669	194450	13b	Ajka-II	kibúvás	9	157,90	-41,90
535495	170830	15	Mindszentkál	tufa	5	333,50	63,00
561331	174992	16	Tihany	tufa	10	8,20	64,70
543224	172643	17	Hegyesztű	kibúvás	5	9,80	65,40
517312	174992	18	Uzsa	kőfejtő	33	14,30	55,20
510431	174517	19	Zalaszentő	kibúvás	14	8,00	56,45
515829	178432	20	Sümeprága	kőfejtő	13	13,30	54,40
511854	177365	21	Tátika	kibúvás	5	17,60	68,60
510075	177780	22	Bazsi	kőfejtő	6	1,10	58,90
508117	177424	23	Vidornyaszőllős	kibúvás	7	35,60	53,30



10. ábra | Paleomágneses mérések a Balatonfelvidék domborzati térképén (a normál mágnesezettség fekete kitöltésű, reverz mágnesezettség üres körrel jelölve)

Figure 10 | Locations of paleomagnetic measurements on the Balaton Highland topographic map (sample of normal magnetization by black circle, sample of reverse magnetization by empty circle)

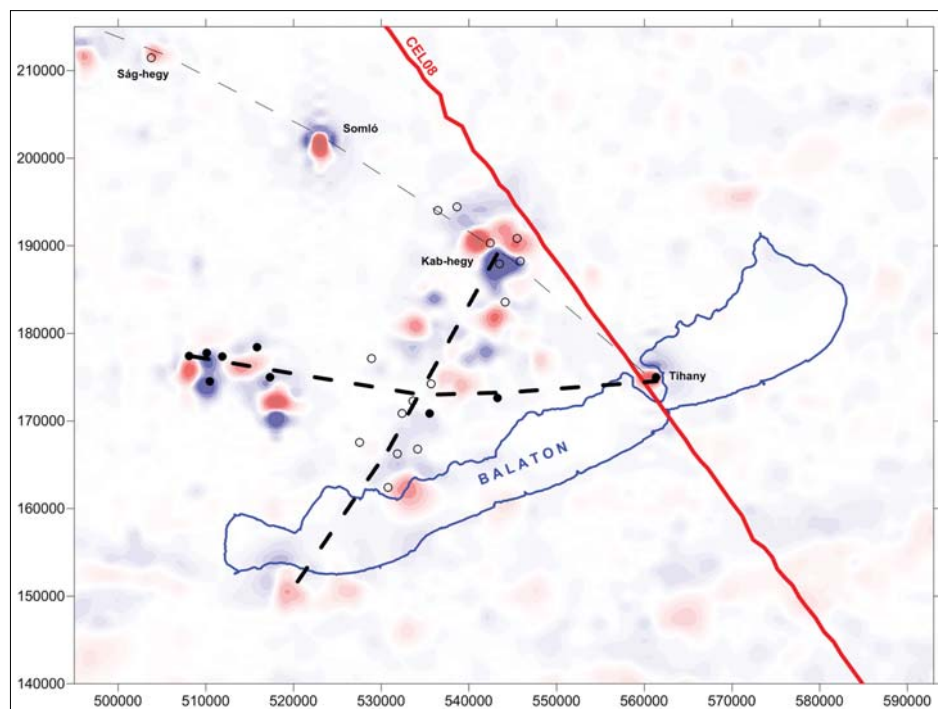


11. ábra A bazaltok alapján meghatározott paleomágneses pólus irányok (piros nyíl) és kormeghatározások (fekete kereszt) helye az árnyékolt domborzati térképen

Figure 11 Direction of paleomagnetic pole (by red arrows) and K/Ar age determinations of the basalt samples (black cross) are shown on the topographic map

hegy között egy DNy–ÉK-i sávban jellemzőek, kivéve az elkülönülő Ság hegyet (12. ábra). Sajnos nincs paleomágneses mérési eredmény a Somlóról, valamint a Szigliget és a Taliándörögd környéki bazaltokról.

A 4. táblázat a balatonfelvidéki bazaltok korát mutatja a K/Ar-kormeghatározások alapján. A kor és a mágnesezettség valószínűleg szoros összefüggésben van, bár a paleomágneses és a K/Ar-vizsgálatok nem ugyanazokon a mintá-



12. ábra A felső 2 km-es mélység mágnesesanomália-térképe, normál és reverz paleomágneses minták helyével és a vulkanizmus, illetve a mágnesezettség típusa alapján feltételezhető szerkezeti zónákkal (fekete szaggatott vonalak), valamint a CEL08 szelvény nyomvonalával (piros vonal)

Figure 12 Magnetic anomaly map of the upper 2 km depth with locations of paleomagnetic sampling and some supposed structural zones based on magnetization (dashed black line) and the location of CEL08 profile

4. táblázat | K/Ar-kormeghatározások (millió év) a balatonfelvidéki bazaltokon (Balogh et al. 1982, Borsy et al. 1986; Balogh et al. 1986 után)
Table 4 | K/Ar age determinations of the basalts (My) of Balaton Highland area (after Balogh et al. 1982, Borsy et al. 1986)

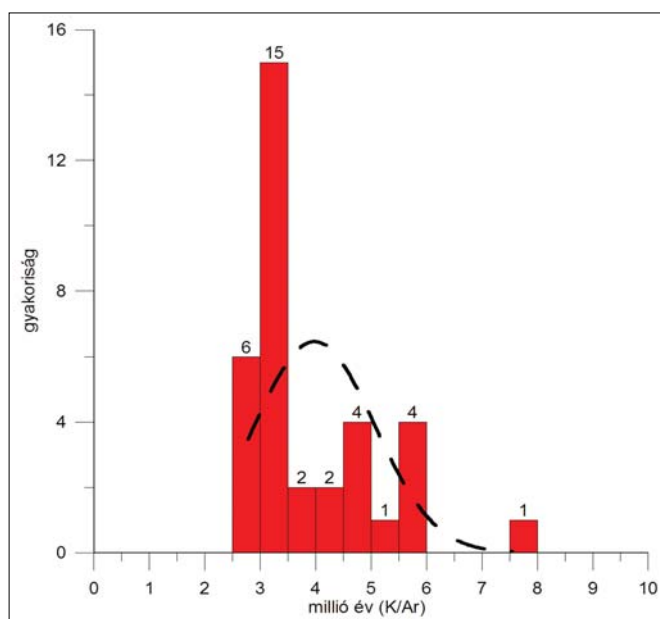
Lelőhely	x	y	K/Ar-kor	Lelőhely	x	y	K/Ar-kor
Badacsony	530779	162415	3,45	Pipa-hegy	535638	170167	3,50
Hármashegy	531488	164285	3,50	Harasztos-hegy (Kékkút)	536124	169500	3,50
Szentgyörgy-hegy	527528	167549	2,80	Kereki-domb	535655	171238	3,50
Gulács	531847	166271	3,47	Öreg-hegy (B.henye)	540285	174874	3,50
Haláp	528881	177127	2,94	Kishegyestű	540995	169552	3,50
Vendek-hegy	526701	177155	2,94	Kapolcs	540558	179581	4,66
Fekete-hegy	538251	173993	2,78	Tálodi-erdő	544112	183573	4,65
Boncsos-tető	537952	175837	2,78	Pula	545847	188221	4,25
Bondoró-W	538087	179907	3,00	Kab-hegy	542407	190297	5,23
Hegyesd	533008	175566	3,08	Bondoró-E	539303	179930	5,54
Szigliget	527906	163588	3,40	Hegyes-tű	543224	172643	5,97
Fonyód	535595	156029	3,55	Kab-hegy (csúcs)	544116	190392	4,73
Boglár	545720	159977	3,50	Tóti-hegy	534177	166784	5,71
Agártető	532219	181039	3,44	Halom-hegy (Dörgicse)	548078	177610	5,69
Tagyon	547738	174950	3,26	Sátorma	535704	174217	4,53
Csobánc	532354	170852	3,50	Tihany	561331	174992	7,54
Hajagos	533593	172282	3,94	Taliándörögd	536764	182791	4,50
Kopasz-hegy (Mindszentkál)	535495	170830	3,50				

kon történtek. A kérdés csak az, hogy a vulkáni működés során hány pólusátfordulás történt?

A 12. ábra a felső 2 km-es mélységtartomány mágneses-anomália-térképén mutatja, a normál (fekete pontok) és reverz polaritású minták (fekete karikák) lehetséges geometriai kapcsolatát (egy Ny–K irányú és egy DNy–ÉK irányú zóna).

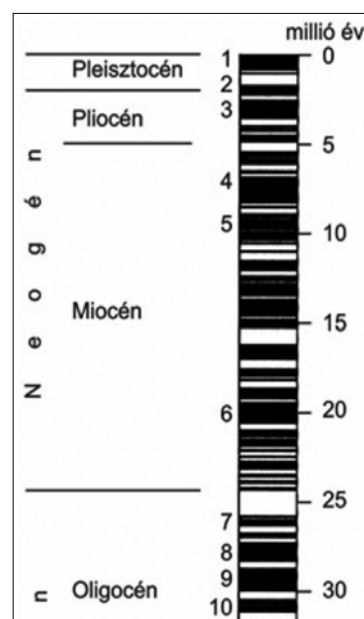
A mágneses anomáliák alapján kijelölhetünk egy ÉNy–DK-i ívelt vonalat, amely mentén felfűzve megtalálhatjuk a Ság hegy, a Somló, a Kab-hegy és a Tihanyi-félsziget bazalt-előfordulásait.

Az ívelt Ság hegy – Tihany vonal és a CEL08 szelvény nyomvonala hegyesszögben metszik egymást, ebből adód-



13. ábra | A bazaltok kora a Balatonfelvidéken a K/Ar-kormeghatározások hisztogramja (gyakorisági görbéje) alapján

Figure 13 | Histogram of the K/Ar age of basalts



14. ábra | Neogén paleomágneses időskála (Márton 2004)

Figure 14 | Neogene paleomagnetic timescale (Márton 2004)

hat, hogy a mágneses Naudy-megoldások a Kab-hegy mélybeli magmacsatornáját délebbre jelzik (6. ábra), mint ahogy a szeizmikus sebességek alapján látjuk. A magyarázat valószínűleg az, hogy ahol a szelvény nyomvonalához legközelebb van a mágneses ható, ott jelentkeznek a mélybeli Naudy-megoldások.

A szeizmikus hullámútak a robbantás és a geofonok közötti teret járják be, onnan gyűjtik az információkat. A többféle robbantási és észlelési (geofon-) pont miatt a Kab-hegy magmacsatornáját a szeizmikus mérések térbelileg pontosabban képezik le. A mágneses mérések esetében a minél közelebb van a mágneses ható, annál inkább domináns a hatása. Ebből következik, hogy a Naudy-megoldások nem a Kab-hegy geometriai közepét, hanem annak a CEL08 szelvényhez legközelebb eső DK-i részét képezik le, ami szabad szemmel a szelvény anomália görbéjén szinte nem is látszik (6. ábra), ám a mélybeli Naudy-megoldások mégis jelzik.

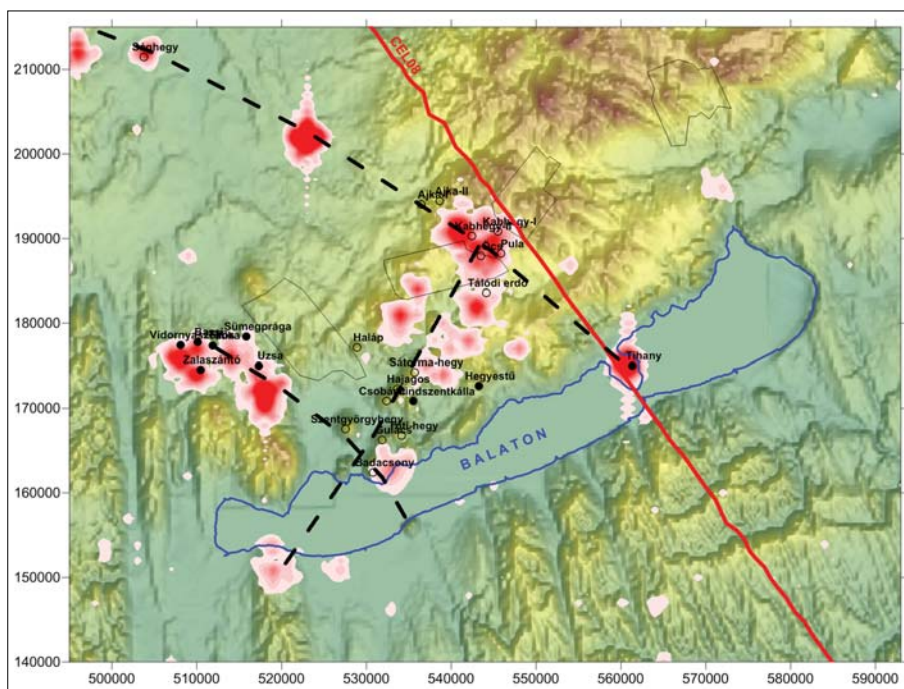
A bazaltok kora a legidősebb 7,54 millió éves tihanyi előfordulástól a 2,78 millió éves fekete-hegyi, boncsos-tetői bazaltokig terjed. Ez alatt a közel 5 millió év alatt (2,78–7,54 Mév) azonban kb. 5 pólusátfordulás történt (14. ábra), így a normál és a reverz mágnesezettség kapcsolata a földtani idővel nem párhuzamosítható egyértelműen. Ez számunkra azt jelenti, hogy a korábban feltételezett K–Ny-i irány nem bizonyítható, s ezért a Vidornyaszőlős–Tihany vonal helyett például a Vidornyaszőlős–Szigliget vonal a valószínűbb, amely viszont párhuzamos a Ság hegy – Tihany vonallal. Ez egy erősebb szerkezeti kapcsolatot jelenthet, mivel ez a TESZ (Trans-European Suture Zone) vonalával párhuzamos irány.

A Ság hegy és a Somló K/Ar-kormeghatározása nincs meg, így a paleomágneses irányok és a kor nem kapcsolhatók össze. A szerkezeti kapcsolat azonban nagy valószínűséggel megvan, de nem a mágnesezettség jellege alapján, hanem sokkal inkább a testek elhelyezkedése és a mágnesestérgradiens-anomáliák alapján (15. ábra).

A 15. ábra mutatja a mágneses anomáliák helyét (térgradiens-maximumok a földi mérési adatokból), a légi geofizikai mérések területét (fekete kontúrok) az árnyékolt domborzati térképen. Látható a Kab-hegytől DNy-ra található légi mérési terület, amelynek a DNy-i csücskében a Taliándörögdí mágneses hatók is azonosíthatók még a ritka ponttávolságú földi mágneses felmérések térgradiensei alapján is.

Mindenesetre Taliándörögdön, a légi mágneses mérések területén a DNy-i ható normál, az ÉK-i ható pedig reverz mágnesezettségű. A bazaltok azonos gyökérzónából származhatnak, de nem azonos időben törtek ki, mert ellentétes mágnesezettséget mutatnak, amire a pszeudogravitációs transzformáció eredményéből következtethetünk, s amit a paleomágneses mérésekből megismert normál és reverz mágnesezettségi irányok is megerősítenek. A paleomágneses időskála alapján, a többszöri pólusváltás miatt pedig normál vagy reverz mágnesezettség alapján a kor besorolása nem megbízható.

A mágneses hatóperem-kijelölést (16. ábra) az eltérő pólusközei remanens mágnesezettségi irányok nem befolyásolták. Ha az eredő mágnesezettséget a pólustól eltérő irányú remanens mágnesezettség okozná, akkor pontatlan eredményt kapnánk, így viszont a hatókijelölés megbízható



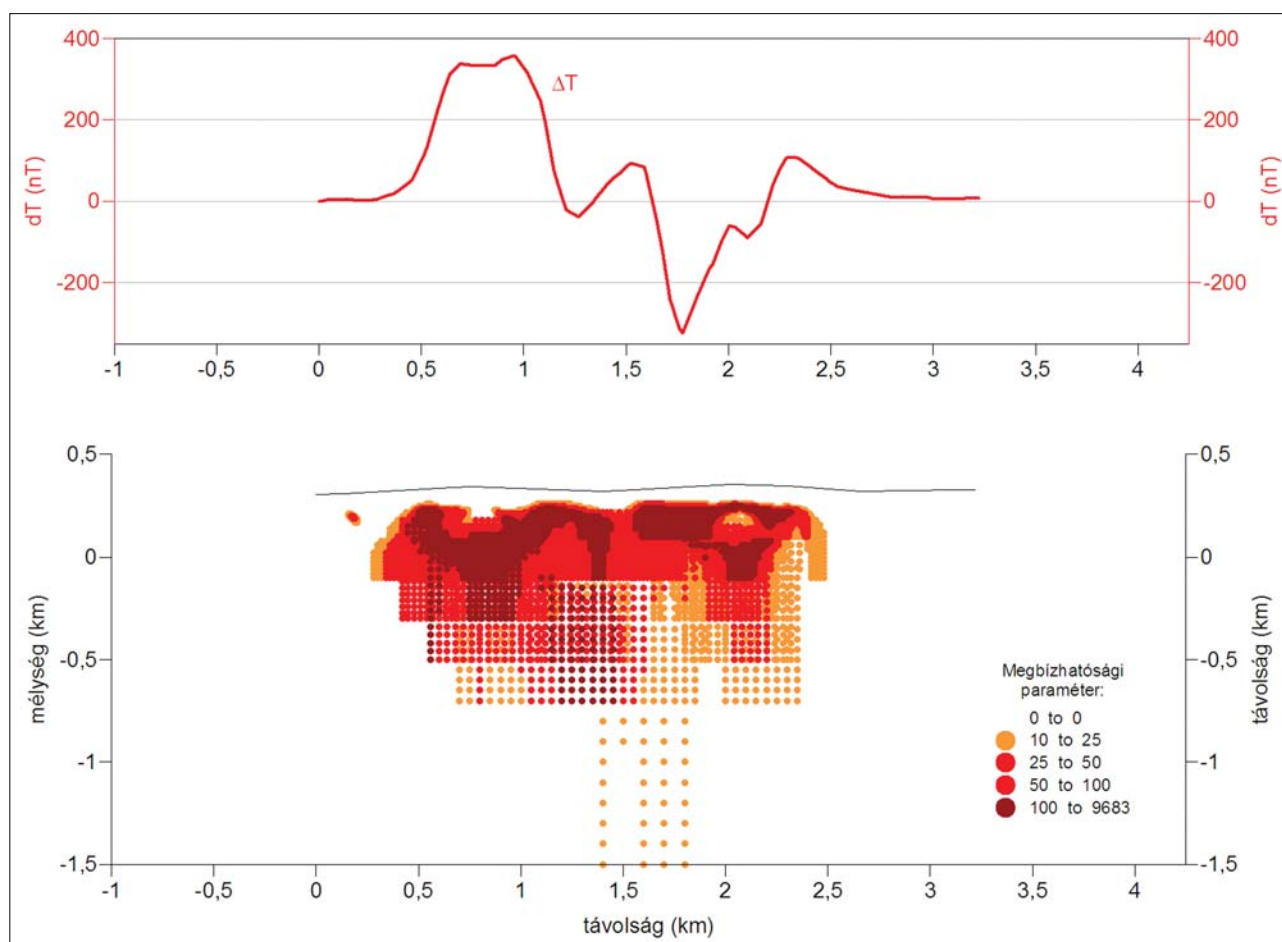
15. ábra Paleomágneses mintavételi helyek, mágnesestérgradiens-maximumok, feltételezhető szerkezeti zónák a domborzati térképen (jelezve van még a CEL08 litoszférakutató szelvény nyomvonala és a légi geofizikai mérések kontúrjai)

Figure 15 Topographic map of Balaton Highland with the locations of paleomagnetic samplings and those of the structural lines (dashed lines) based on magnetic analytical signal maximums (white-red). The location of CEL08 lithosphere exploration profile and the areas of airborne geophysical measurements are also indicated



16. ábra | Mágneses hatóperemek és a Talián-2 szelvény nyomvonala (Taliándörög)

Figure 16 | Results of magnetic boundary detection and the location of Talián-2 profile (Taliándörög)



17. ábra | Naudy-dekonvolúció eredménye: pannóniai bazaltok helyzete a Talián-2 szelvény mentén

Figure 17 | Results of Naudy-deconvolution: the location of Pannonian basalts along the Talián-2 profile

(lásd 7. ábra). A hatóperemek alapján megismert vízszintes elterjedés mellett, a mélységi elhelyezkedést is meg tudjuk becsülni a Talián-2 szelvény mentén elvégzett Naudy-dekonvolúció segítségével. Különböző mintavételi távolság és szűrőméret alkalmazásával az automatikus feldolgozási eljárás a bázisos bazaltképződmények várható mélységi elhelyezkedését adják meg (17. ábra). A Naudy-feldolgozások alapján a bazaltok feláramlási csatornája is részben kirajzolódik a szelvény mentén 0,8 és 2,1 szelvénykilométernél, 0–250 m tengerszint alatti mélységben. A két feláramlási csatornának azonos lehet a gyökere (kb. a 1,6 szelvénykilométernél), de ezt már csak sejtetik a feldolgozások. Egy hosszabb szelvény kiválasztásával a közös szakasz is jobban tanulmányozható lenne, de a légi mérések által lefedett területe mérete korlátozza a lehetőségeinket. A légi mérések területén kívül már csak egy sokkal ritkább adatrendszer áll rendelkezésre, amelyet nem lehet összevetni a kb. 25 m-es mintavételű légi geofizikai adatokkal.

Örkényi-árok – nagytektonika és árokvulkanizmus

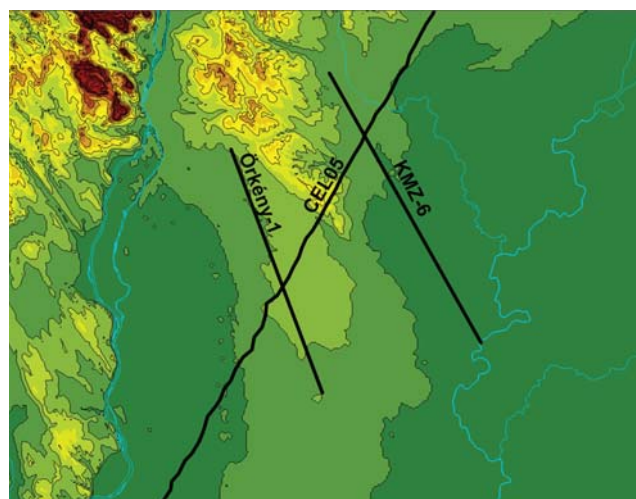
Az Örkény-1 szelvényt (18. ábra) az 500 000-es prekainozoos földtani térkép (Haas et al. 2010) szerkesztési folyamata során elemeztük. A Közép-magyarországi zóna mentén, az Örkényi-árok felett jelentős gravitációs és mágneses anomáliák találhatók (19. ábra). Ezt több szelvény mentén vizsgáltuk már (18. ábra). A CEL05 litoszférakutató szelvény, a CELEBRATION-2000 projekt egyik alapszelvénye, amelyen 2012-ben végeztünk erőter-geofizikai feldolgozásokat (Kiss et al. 2012). A KMZ-6 szelvényt 2014-ben vizsgáltuk, a dunántúli Közép-magyarországi zóna K-i folytatásaként.

Félrevezető lehet, ha az Örkény-1 szelvény mentén néhány medencealjzatot ért mélyfúrás alapján próbáljuk megrajzolni a prekainozoos aljzatot (20. ábra). A nagy gravitációs minimum területén nincsen aljzatmélységre vonatkozó adatunk, mivel a fúrások miocén vulkanitokban megálltak.

Ezen a területen a további értelmezéshez csak geofizikai adatok állnak rendelkezésre, ezeket kell felhasználni. A vulkanitok teteje erős reflektáló felületként jelentkezik, és ez alatt szeizmikusan néma zóna van, ami megnehezíti/lehetetlenné teszi a medencealjzat felszínének szeizmikus detektálását.

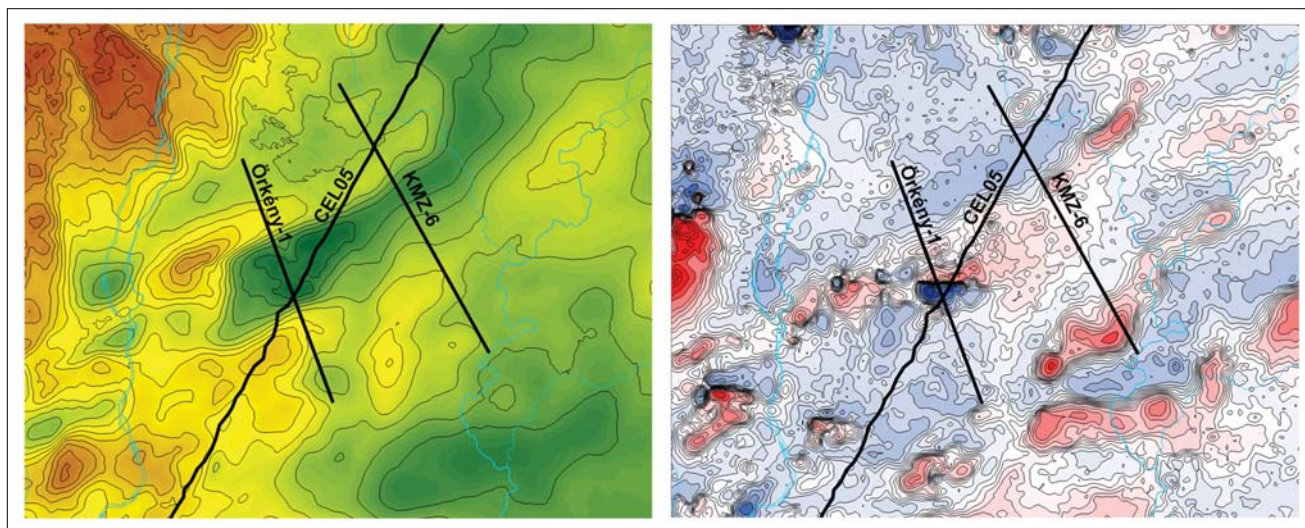
Kilényi és Šefara 1991-ben a pretercier (prekainozoos) medencealjzatot ábrázoló mélységtérképük elkészítésekor figyelembe vették a gravitációs minimumot, s ennek megfelelően az Örkényi-árkot 5–6 km mélységűnek adták meg (21. ábra, alul). A gravitációs mérések alapján a szelvény mentén jelentős gravitációs minimum van (21. ábra, felül). A minimum értelmezésére több lehetőség is adódik:

- laza üledékkel feltöltött árok,
- vulkano-tektonikai árok vulkáni törmelékkal, tufával,
- mély nyírási (fellazulási) zóna.



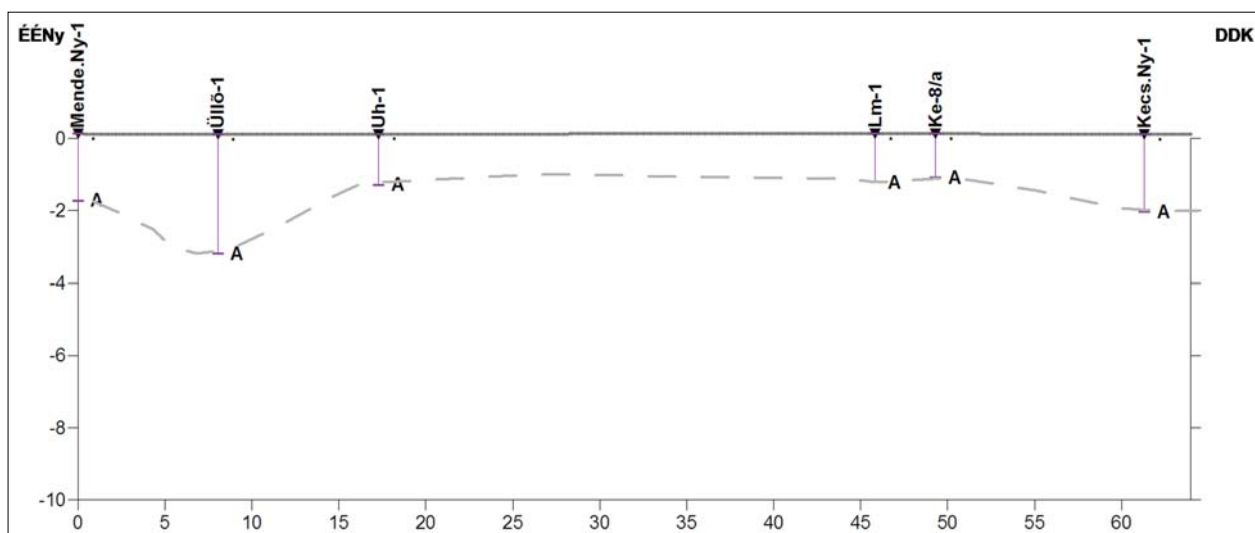
18. ábra Az Örkény-1 szelvény helyzete a Duna-Tisza közén, a domborzati térképen

Figure 18 Location of Örkény-1 profile on the topographic map between the Danube and Tisza rivers



19. ábra Az Örkényi-árok környezetének Bouguer- és mágneses anomália-térképe

Figure 19 Bougier and magnetic anomaly maps of the Örkény Graben region



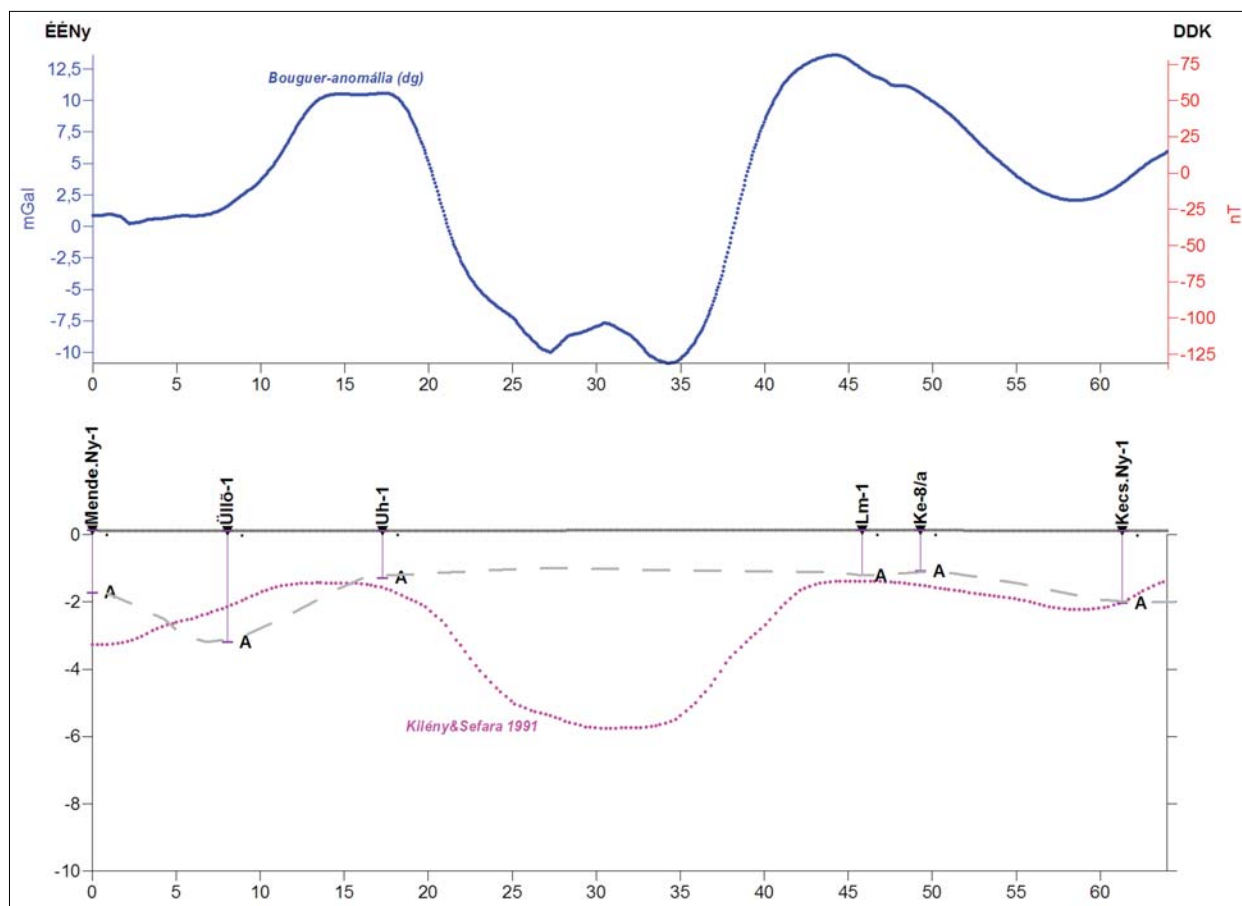
20. ábra A kevés, mélyfúrások által harántolt medencealjzat-mélységadat (A-val jelölve) félrevezető lehet
Figure 20 Insufficient data of the depth of Cenozoic basement might be misleading

Érdemes tovább vizsgálni, mivel:

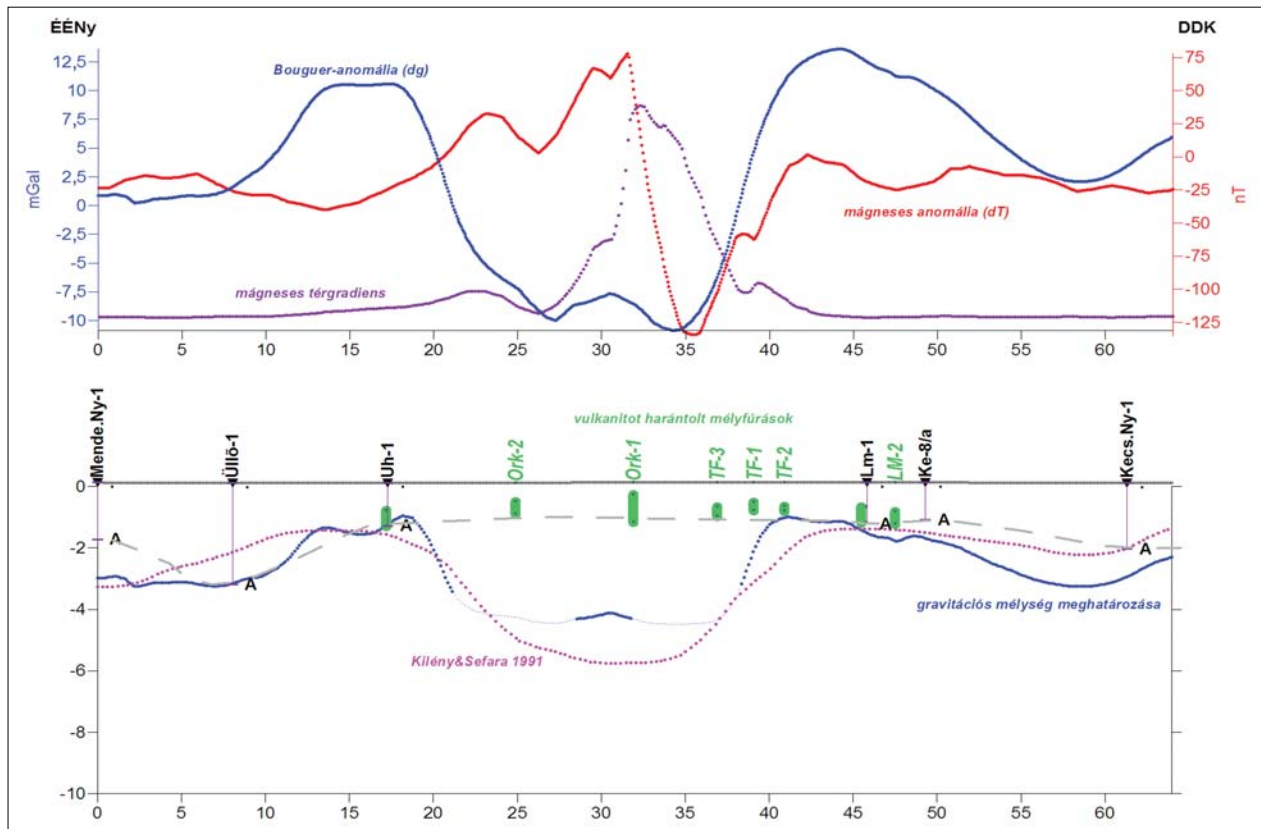
- Több örkényi, táborfalvai fúrásban is miocén tufa- és lávaképződményeket harántoltak (amelyben a fúrások le is álltak és nem mélyítették tovább azokat, 22. ábra).

- Nem meglepő módon erős mágneses anomáliát is találunk a szerkezet felett (22. ábra).

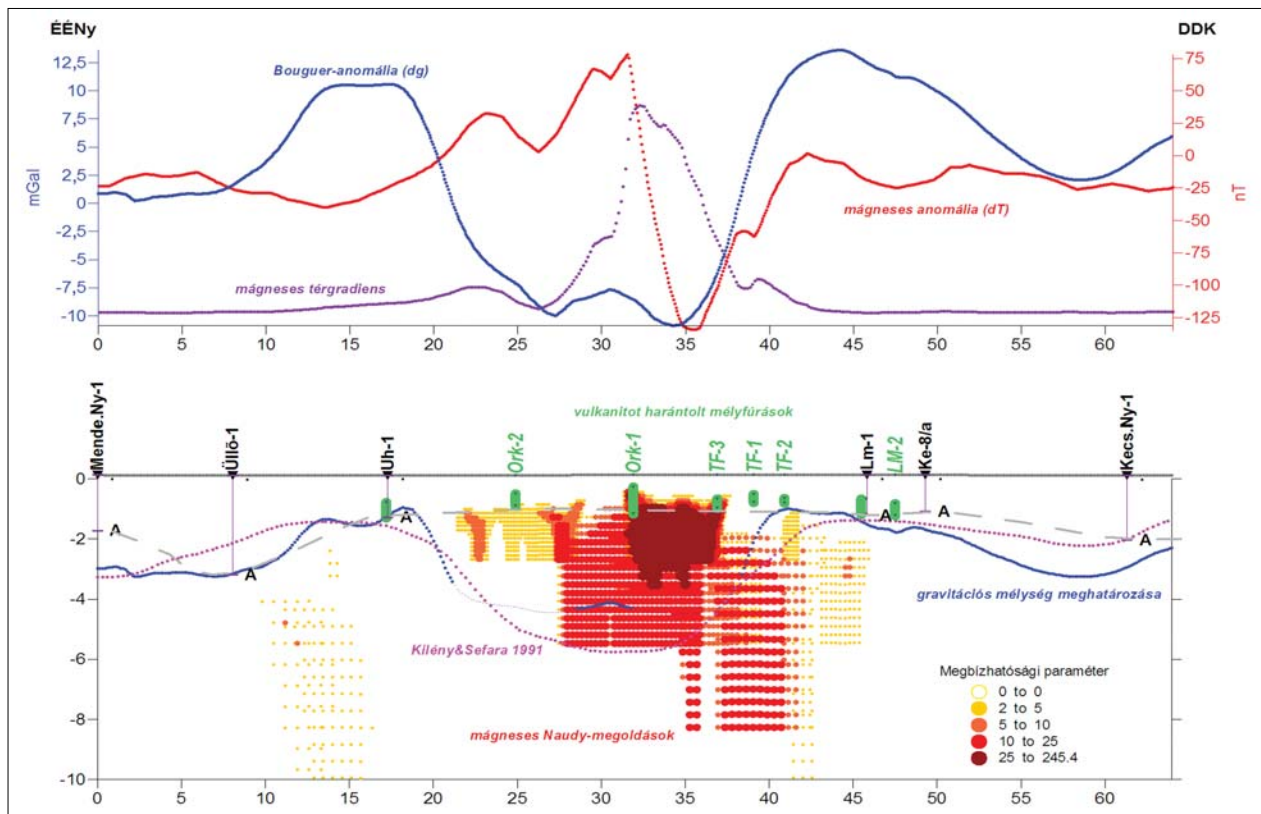
A mágnesestérgradiens-anomália mutatja a ható legvalószínűbb helyét a szelvény mentén. A szelvény nyomvonala



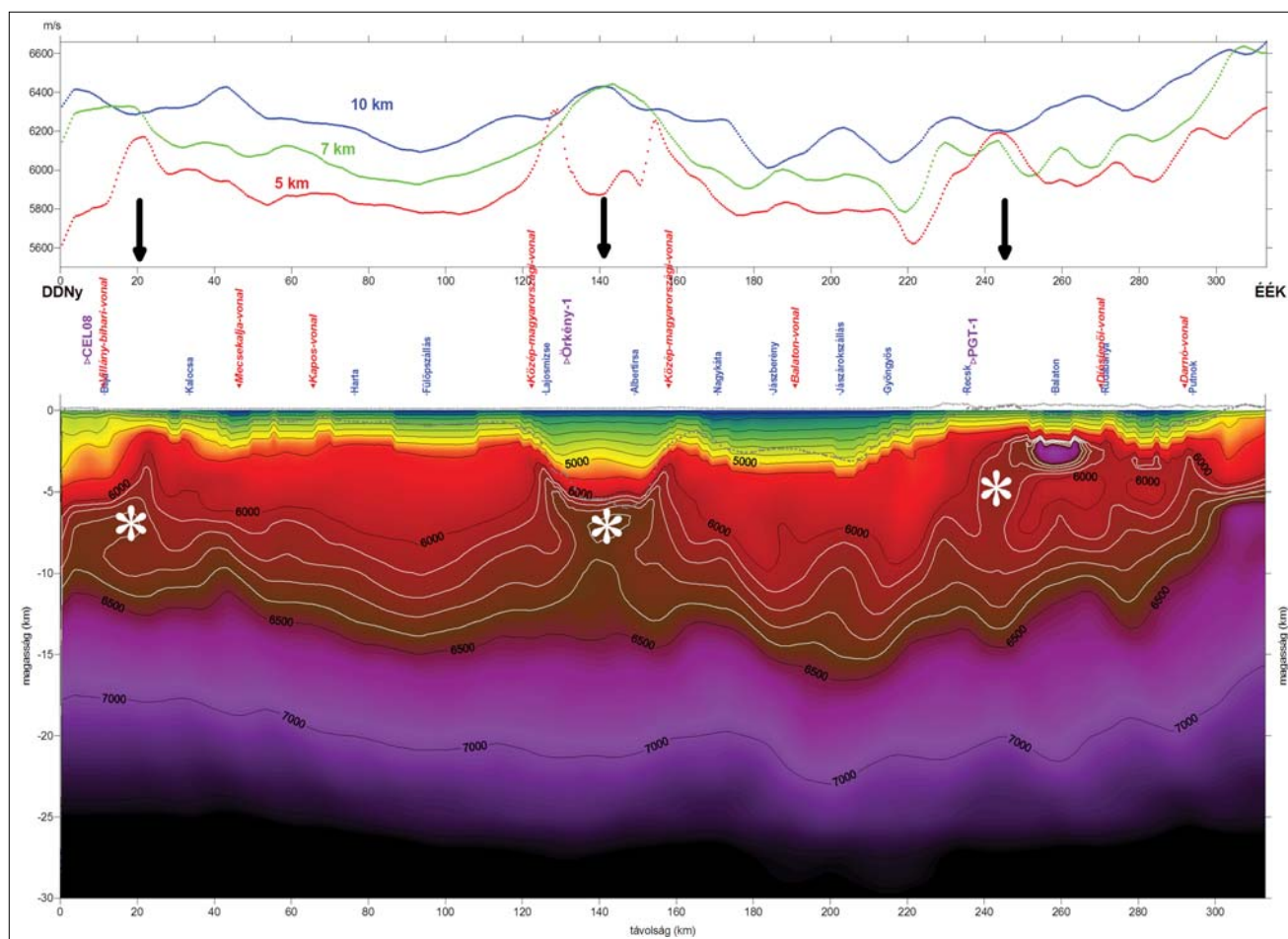
21. ábra Gravitációs Bouguer-anomália (felül) és a medencealjzat lefutása Kilényi és Šefara (1991) alapján (alul)
Figure 21 Gravity Bouguer anomaly (above) and the depth of the basement (below), after Kilényi and Šefara (1991)



22. ábra Bouguer-, mágneses és térgradiens-anomália (felül), vulkanitos mélyfúrások (zöld) és inverziós mélység (kék, alul)
 Figure 22 Bouguer and magnetic anomaly curves, as well as an analytical signal curve above, depth from gravity inversion and from well data (blue and green) below



23. ábra Mágneses Naudy-féle megoldások szűrve a megbízhatósági paraméterek alapján
 Figure 23 Magnetic Naudy solutions ranking by reliability parameters along Talián-2 profile



24. ábra | CEL05 szeizmikus sebességszelvény
Figure 24 | CEL05 seismic velocity profile

mentén elvégzett Naudy-dekonvolúció megoldásai körvonalazzák a mágneses ható mélységi helyzetét (23. ábra). A Naudy-megoldások nagy vastagságú, mágneses hatót jeleznek, ami a fúrások alapján andezites láva, illetve piroklasztikum lehet.

A feldolgozások alapján az Örkényi-árok egy 4-5 km mély, tektonikus eredetű (nagyszerkezeti) árok, amely mentén a középső miocénben árokvulkanizmus hatására jelentős mennyiségű vulkáni törmelékkes összlet és kisebb mennyiségben bázisos lávaanyag halmozódott fel, amely a mélyfúrások alapján néhány száz métertől jelen van, de a mágneses megoldások alapján csak kb. 1 km-től alkot összefüggő testet. Az árkot a CEL05 szeizmikus, refrakciós tomografikus sebességszelvény (24. ábra) alapján is vizsgáltuk, mivel a szelvény keresztezte az árkot, az Örkény-1 szelvény nyomvonala mentén (18., 19. ábra). A szelvény mentén nagy sebességű zónákat lehet kimutatni 20, 140 és 245 km-nél (csillagokkal jelölve, 24. ábra). Az első a Mecsek-aljzóna, a második az örkényi szerkezet és az utolsó a Recsk-től kezdődő érces vonulatot (Recsk, Rudabánya, Torna-szentandrás) jelzi.

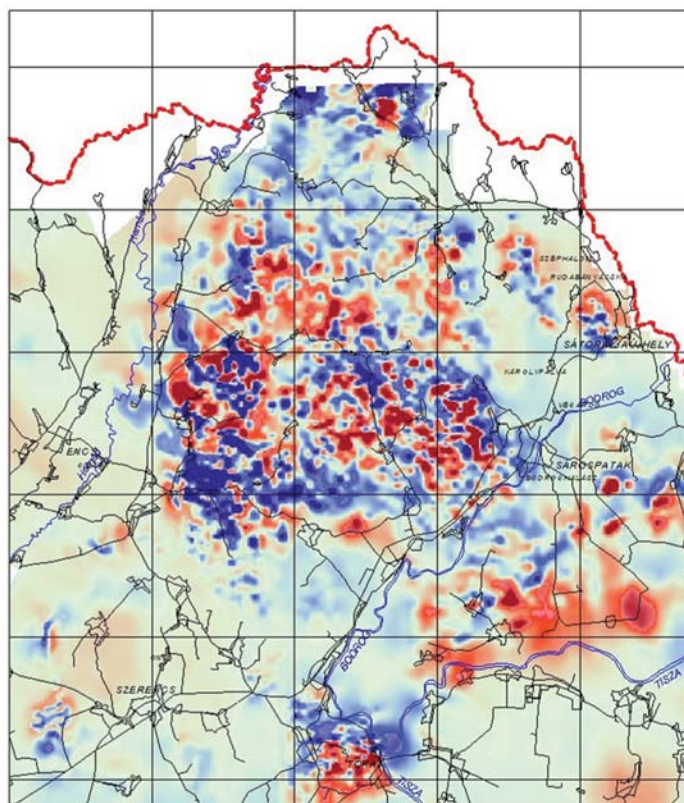
A sebességeloszlás-szelvény felett az 5, 7 és 10 km-es mélységekre tartozó sebességértékek vannak grafikonon megjelenítve. Látszik, hogy az Örkényi-árok 5 km mély-

ségben a peremek (kontakt zóna) mentén ad sebességmaximumot, majd 10 km-nél már egy egységes központi zóna rajzolódik ki (24. ábra). Ez a nagy sebességű központi zóna lehet a miocén vulkanizmust tápláló bázisos alsó kéreg vagy köpeny eredetű anyagok felemelkedési/átalakulási zónája.

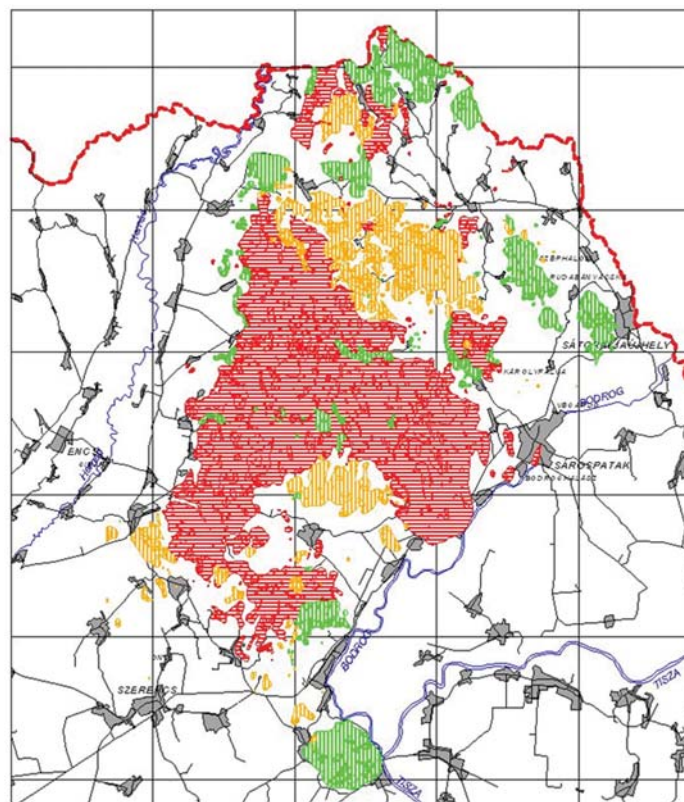
Tokaji-hegység – paleovulkáni rekonstrukció

Az 50-es években légi mágneses méréseket végeztek Magyarország középhegységi zónájában, többek közt a Tokaji-hegység területén is, aminek eredménytérképe (25. ábra) a mai napig hasznos információkat ad egy bonyolult, kürtősoros rétegvulkáni felépítésű hegységről. A földtani térképezésnek köszönhetően a Tokaji-hegységben a vulkáni eredetű kőzetek (andezitek, riolitok és a piroxendácitok) felszíni elterjedése viszonylag jól ismert (26. ábra), amit érdemes összevetni a mágneses adatokkal.

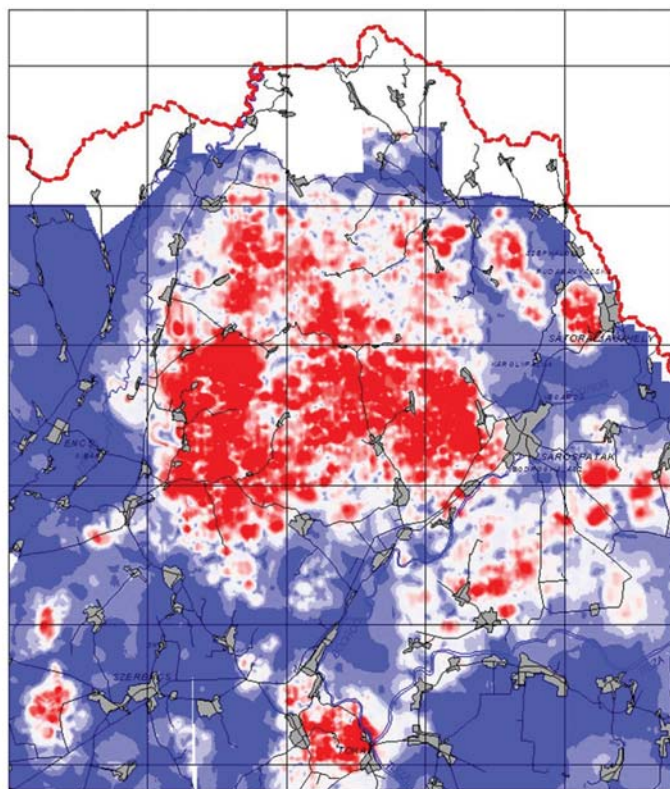
A mágneses anomália-térkép mozaik anomáliái még gyakorlott szemmel is nehezen értelmezhetőek, ezért további adatfeldolgozásra, transzformációra van szükség, hogy az interpretációhoz használható anomália térképet kapjunk. A különböző irányderiváltakból számított mágneses térgradiens (27. ábra) azonban már alkalmas az összevetésre,



25. ábra | Légi mágneses, ΔT -anomália-térkép a Tokaji-hegység területén
Figure 25 | Airborne magnetic ΔT anomaly map of Tokaj Mountains

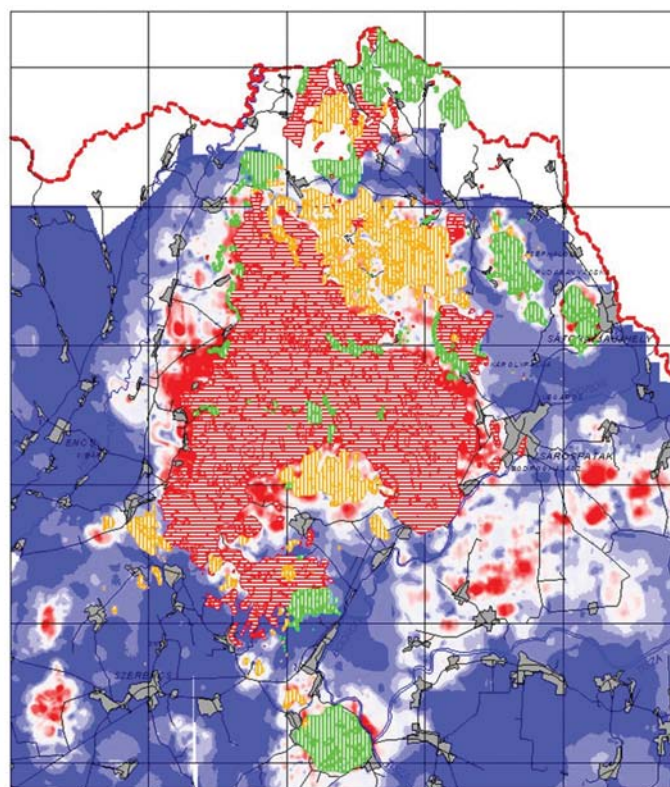


26. ábra | Andezitek (piros), piroxéndácitok (zöld) és riolitok (sárga) elterjedése a Tokaji-hegység területén
Figure 26 | Andesite (red), pyroxendacite (green) and rhyolite (yellow) formations in the Tokaj Mountains



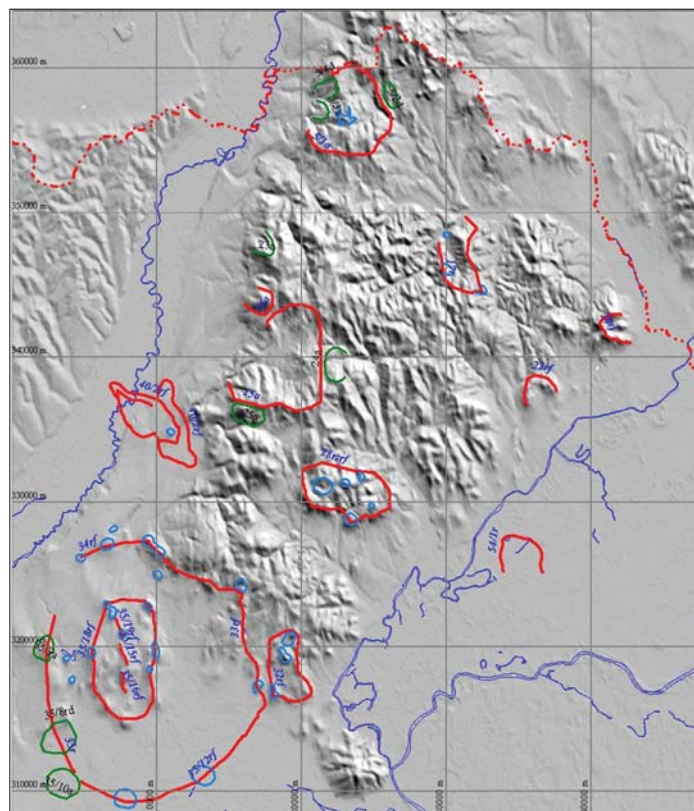
27. ábra | Mágnesestérgradiens-térkép a Tokaji-hegység területén. Az andezitek adják a legerősebb mágneses anomáliákat (piros szín). A piroxéndácit hatása is jelentős (piros és fehér átmeneti színek). A riolitok (átmeneti fehér szín) még elűtnék mágneses hatásukkal a nem mágneses (kék színek) környezettől, de jelentős anomáliát már nem okoznak

Figure 27 | Magnetic analytical signal map of the Tokaj Mountains



28. ábra | Mágnesestérgradiens-térkép s rajta a felszínről ismert vulkanitelterjedés (jelmagyarázat: 27. ábra)

Figure 28 | Analytical signal map and the location of different volcanic formations



29. ábra Vélt vulkáni kalderaszerkezetek a komplex értelmezés alapján az árnyékolt domborzati térképen (Zelenka et al. 2012)
Figure 29 Interpreted volcanic caldera structures based on complex interpretation on the shaded topography map (Zelenka et al. 2012)

mert jól mutatja, hogy hol vannak a legerősebben mágneses képződmények. A mágnesestérgradiens-térkép alapján térképezni lehet ezeket a felszínközeli különböző vulkáni, szubvulkáni képződményeket.

Legerősebb mágneses hatása a tokaji-hegységi kőzetek közül az andeziteknek van, utána a dácitok következnek magas piroxén tartalmuknak köszönhetően. A riolitok gyengén mágnesesek, s ahol ezek a savanyú vulkanitok a felszínen nagy vastagságban jelen vannak, ott csak gyenge mágneses anomáliát tapasztalunk. Sokszor nem is a riolitok hatása ez, hanem sokkal inkább az alattuk elhelyezkedő bázisos képződményeknek a gyenge háttér hatása. Néhány érdekes szerkezet, vulkano-tektonikai elem rögtön azonosítható a térgradiens-térkép (27. ábra) alapján: több kalderaszerkezet (29. ábra), a Bodrog-vonal (árokvolkanizmus?), vulkano-tektonikai vonalak a hegység területén, amelyeket 2012-ben részletesen tanulmányoztunk Zelenka Tibor vezetésével (Zelenka et al. 2012).

A mágneses adatok alapján a bázisos-intermedier vulkanitok térképezése a vulkanitoknál fiatalabb üledékekkel lefedett területen is jó eséllyel elvégezhető.

Telkibánya (paleovulkáni rekonstrukció)

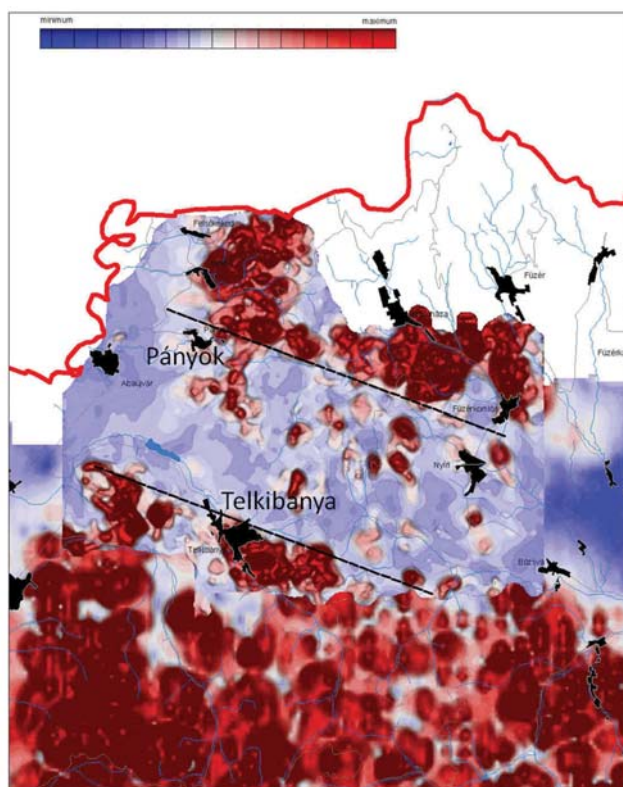
Mágneses adatok, feldolgozások

Különböző felbontású, minőségű mágneses adatok állnak rendelkezésre Telkibánya területéről:

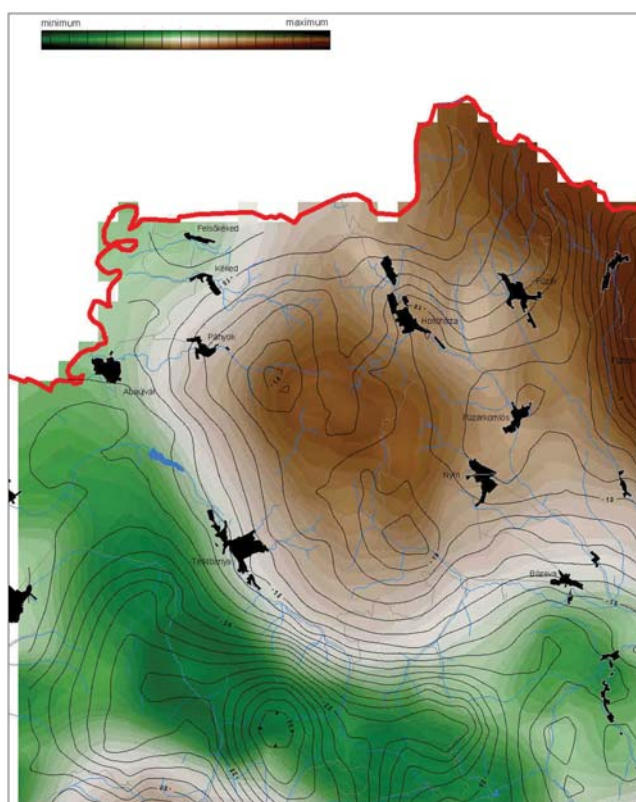
Mágneses ΔZ adatok: országos földi felmérés 50-es évek (ponttávolság: 1500 m).

Mágneses ΔT adatok: légi felmérés 1967 (ponttávolság: 250 m),
légi felmérés 1997 (ponttávolság: 30 m).

Mágneses térképek a földtani képződmények mágneses tulajdonságainak térbeli eloszlásáról adnak információt. A mágneses térgradiens (analitikus jel) számításával a nagy gradiensű, felszínközeli mágneses hatók hatását emeljük ki (30. ábra). A vulkáni képződmények mágneses hatásuk alapján – leegyszerűsítve – riolitos és andezites összetételűre különíthetők el (lásd a Tokaji-hegységi esettanulmányt fentebb). A mágnesestérgradiens-térkép alapján két, ÉNy–DK-i irányú választóvonal rajzolódik ki Pányokon és Telkibányán keresztül, amely vulkanológiai szempontból a savanyúbb riolitos vagy átalakult, gyengén mágneses vulkáni képződményeket és a bázikusabb, andezites vulkanitokat választja el egymástól. A Telkibánya környéki ércesedés K-metaszomatózis hatására alakult ki (Zelenka 1994). Ez az átalakulás azonban felszínközeli sötét elegyrészeket (ferromágneses anyagokat) is átalakította, feltehetően ezért a telkibányai kaldera a mágnesestérgradiens-térképen nem azonosítható. A terület É-i részét a határvonal feletti repülési tilalom miatt nem lehetett légi mágneses mérésekkel lefedni, így a légi mágneses mérések hiányosak, s vizsgálatokhoz más geofizikai mérést, illetve fizikai paramétert kellett választani. Ilyen



30. ábra | Egyesített mágnesestérgradiens-térkép az 1967-es és az 1997-es légi mérésekből
Figure 30 | Analytical signal map derived from the merged magnetic anomaly maps of the 1967 and 1997 airborne measurements



31. ábra | Bouguer-anomáliatérkép a telkibányai területről 2,0 (színek) és 2,67 (izovonalak) g/cm³ korrekciós sűrűséggel számolva
Figure 31 | Bouguer anomaly map, Telkibánya area calculated by 2,0 (for colours) and 2,67 (for isolines) g/cm³ reduction density

geofizikai adat lehet például a területet lefedő gravitációs mérések eredménye.

A különböző korrekciós sűrűségekkel kiszámolt Bouguer-anomáliaértékek nagyfokú eltérése (31. ábra) jelezte, hogy a behatolási mélységig jelentős sűrűséginhomogenitások vannak. Egy vulkáni területen ez a láva-tufa elterjedéséből vagy másodlagos kőzettani átalakulásokból adódóan alakulhat ki. Számunkra mindkét eset érdekes, az első vulkanológiai, a másik ércutatási szempontból.

Gravitációs adatok és feldolgozásuk

Az általános tömegvonzási erő képlete a tömeg (térfogat és sűrűség) és a távolság szerepét a gravitációs anomáliák esetén pontosan leírja. A tömegvonzási erő a tömeg- (térfogat- és sűrűség-) változással egyenesen, a távolság négyzetével viszont fordítottan arányos. Ez az utóbbi az amplitúdó-faktort, azaz az anomáliák nagyságának változását írja le.

Különböző hullámhosszú gravitációs anomáliák különböző mélységű hatóktól származnak, ezek az anomáliák frekvenciaszűréssel elkülöníthetők. Az eljárást mélységi szeletelésnek (*depth slicing*) hívjuk. A szűrési lehetőségeket korlátozó tényezők:

- felülről a mintavételi távolság (nagy térfrekvencia, kis hullámhosszú jelek),
- alulról a terület mérete (kis térfrekvencia, nagy hullámhosszú jelek).

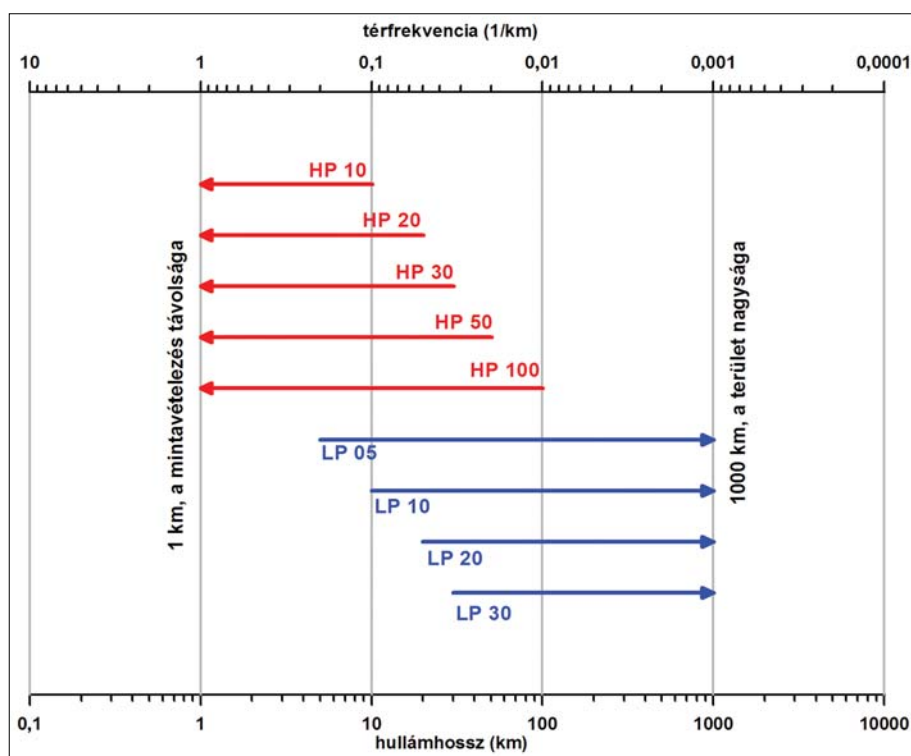
E korlátok közötti jeleket tudjuk a méréseinkkel azonosítani, de az anomáliatérben az ennél nagyobb/kisebb jeltartományok ettől függetlenül azért jelen vannak.

A 32. ábra a frekvenciaszűrés során az anomáliák át eresztett (kiejtett) hullámhossz- (vagy térfrekvencia-) tartományait mutatja. A szűrések kódolása: LP – low pass (aluláteresztő), HP – high pass (felüláteresztő), a számok pedig, a vágási hullámhosszat adják meg, tehát pl. az LP20 szűrés a 20 km-nél nagyobb hullámhosszú anomáliákat hagyja meg, ugyanakkor a HP10 esetén csak a 10 km-nél kisebb hullámhosszú anomáliák maradnak meg a szűréskor.

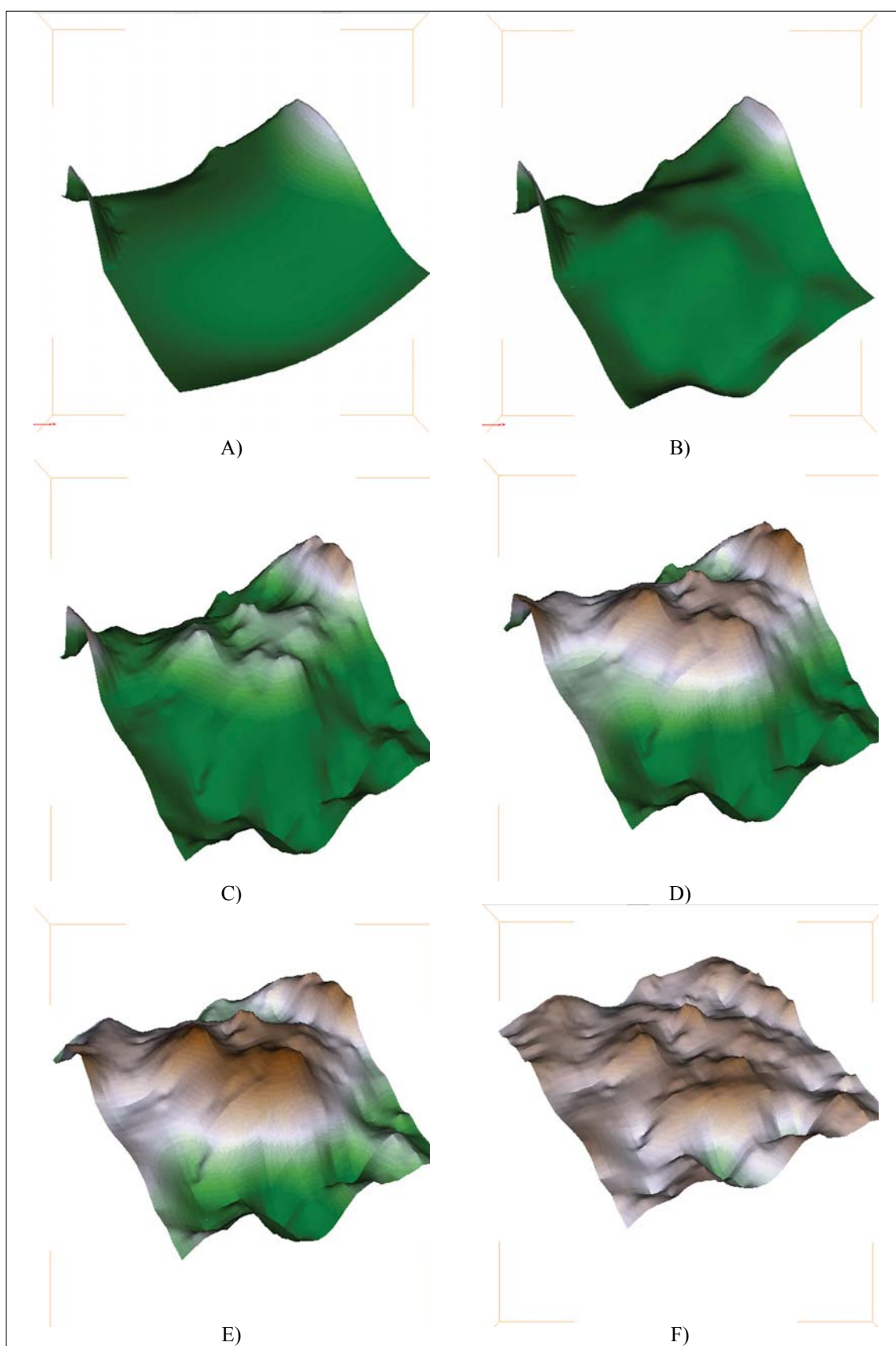
Ha ugyanazt a gravitációs hatót egyre nagyobb mélységbe helyezve a kapott anomáliákat összevetjük, nyilvánvalóvá válik, hogy a települési mélység határozza meg az anomáliák hullámhosszát, az amplitúdó csökkenése mellett az anomália szélessége nő. Ezt használjuk fel a frekvenciaszűréseknél.

A gravitációs Bouguer-anomália a nagy sűrűségű medencealjzat és a szintén nagy sűrűségű vulkáni lávaképződmények hatását együttesen tükrözi. A két különböző típusú gravitációs hatót az eltérő mélységi helyzetük és az eltérő geometriájuk alapján lehet szétválasztani. A háromdimenziós megjelenítésben a változások szinte fejlődéstörténet-szerűen mutatják be a területet (33. ábra). Kezdetben a medencealjzat szintjén (A) megjelenő vulkáni gyökérzóna (B és C), majd annak továbbfejlődése, kiteljesedése (D és E), illetve a vulkáni ciklus végén a kaldera feltételezhető összeomlása (F) és az üledékekkel történő feltöltődése követhető nyomon, adott esetben a sűrűségparaméter alapján (Kiss, Zelenka 2009).

A szűrt gravitációs térképek együttes 3D megjelenítését mutatja a 34. ábra. A jobb megjelenítés érdekében a terület DNy-i egynegyed részét kivágtuk, így a központi részen tör-

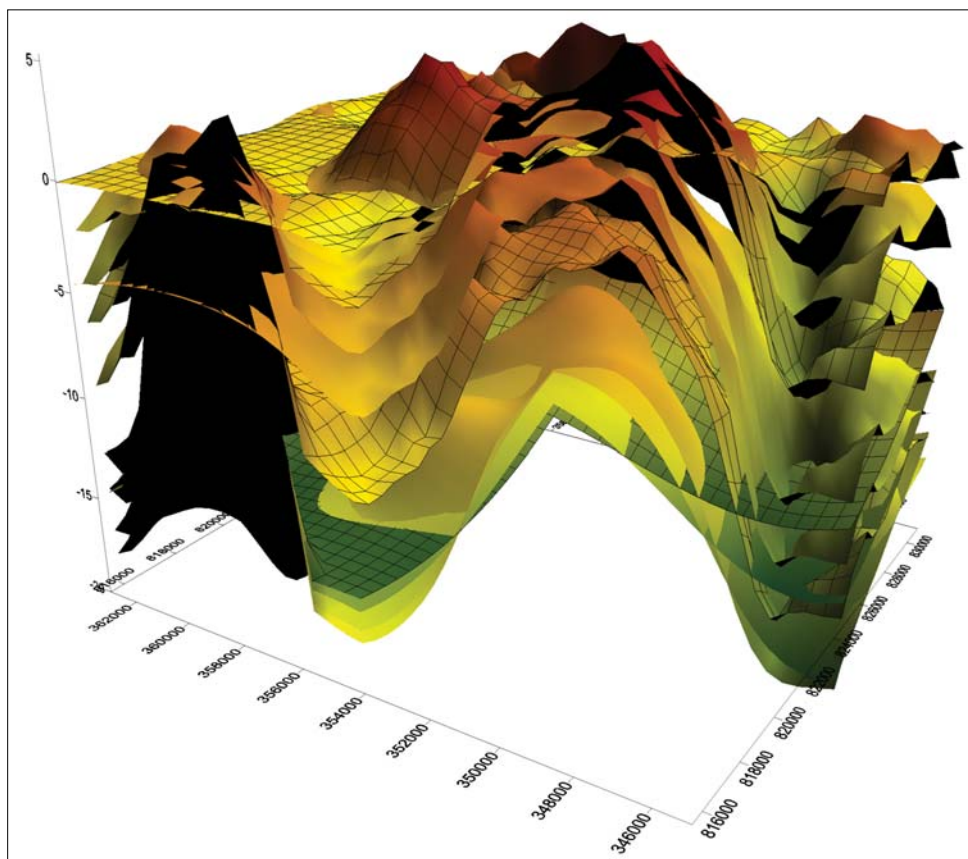


32. ábra Frekvenciaszűréskor át eresztett (ezt jelzik a színes vonalak) és kiejtett hullámhossz- (térfrekvencia-) tartományok
Figure 32 Passed (indicated by colour lines) and rejected spatial frequencies (wavelengths) at the frequency filtering



33. ábra A gravitációs Bouguer-anomáliatérkép frekvenciaszűrése – Telkibánya, 3D megjelenítés DDNy-ről nézve (A – LP20, B – LP05, C – HP100, D – HP50, E – HP30, D – HP10)

Figure 33 Frequency filtering of the gravity Bouguer anomaly map – Telkibánya, 3D presentation from SSW (A – LP20, B – LP05, C – HP100, D – HP50, E – HP30, D – HP10)



34. ábra Szűrte gravitációs Bouguer-anomália térképek –Telkibánya, 3D megjelenítés DDNy-ról nézve (a központi rész kiemelése céljából a terület DNy-i negyedrészt kivágtuk; minden harmadik térképet XY rácshálósval jelentettünk meg)

Figure 34 Filtered gravity Bouguer-anomaly maps – Telkibánya, 3D presentation from SSW (one fourth part was cut at the centre of the area for the better presentation)

ténő sűrűségbeli változásokat jobban nyomon lehet követni. Néhány felületet sraffozással is kiemeltünk a jobb azonosítás érdekében. Az ábrán jól összevethetően látszanak a különböző frekvenciaszűrte térképek maximum–minimum helyei és kirajzolódik a központi kalderaszerkezet is a maximumok alapján.

A függőleges tengelyen a gravitációs Bouguer-értékek vannak, de a szűrte térképek különböző mélységtartományokra jellemző hatásokat mutatnak. Spektrális mélységmeghatározás alapján a szűrte térképek a felső 3 km vastagságú összetet bontották fel – meglepően látványosan – a sűrűségparaméter alapján.

Összefoglalás

Viszonylag sok tanulmány foglalkozik vulkáni hegységeink közzetani vagy éppen morfológiai vizsgálatával. Sokkal mostohább a helyzet az eltemetett vulkáni képződményekkel, mert alig találunk ezzel kapcsolatban használható információt. Ebben a helyzetben a régi geofizikai mérések újrafeldolgozása és értelmezése lehet az információszerzés fő forrása az új feldolgozási eljárásoknak köszönhetően.

Elsőként a Balatonfelvidék tanúhegyeit, azok mélybeli helyzetét vizsgáltuk a CEL08 szelvény szeizmikus és mág-

neses feldolgozása kapcsán, illetve a taliándörögdi légi mágneses anomáliák elemző vizsgálatával. Feldolgozásainkkal a hatók mélységi elhelyezkedését és feltételezhető geometriáját határoztuk meg.

A másik terület a Közép-magyarországi zóna mentén található Örkényi-árok, ahol jelentős gravitációs és mágneses anomáliák találhatók. A vulkanitok megjelenése a nagy-szerkezeti zónában megnehezíti a prekainozoos medencealjzat mélységének pontos meghatározását, így az eltemetett helyzetű vulkanitok lehatárolása kulcskérdés az adott területen. A gravitációs anomáliák alapján kimutatható szerkezeti ároknak a területén megjelenő vulkanitok a mágneses Naudy-megoldások szerint közvetlenül a medencealjzat-képződményekre települnek (árokkitöltésszerűen) és a szeizmikus szelvényeken jelentős reflexiós határfelületként jelentkeztek, miközben szeizmikus sebességük a refrakciós mérések alapján nem éri el az aljzat-képződmények sebességét. A három módszer adatainak együttes vizsgálata alapján az Örkényi-árok bonyolult szerkezetföldtani képe pontosítható volt.

Harmadik területünk a Tokaji-hegység volt, ahol szintén a mágneses adatok különböző feldolgozásaival vizsgáltuk a felszínen is jelen lévő, de sok esetben eltemetett helyzetű vulkanitokat. A laza neogén üledékek és vulkáni törmelékek alatt az eltemetett vulkáni, elsősorban bázisos lávaképző-

mények a mágneses tulajdonságok alapján részben nyomon követhetők: különféle kalderaszerkezetek, dómok, szubvulkánok és árokvulkanizmus jelei azonosíthatók a hegység területén.

A kutatás szempontjából érdekes volt Telkibánya területe, ahol a másodlagos kőzettani átalakulások miatt a mágneses tulajdonságok torzultak, kevésbé használhatók, viszont a gravitációs adatok és a Bouguer-anomáliatérkép mélységi szeletelésével sikerült feltárni a Telkibányától ÉK-re feltételezett vulkáni kalderaszerkezetet.

Köszönetnyilvánítás

A cikkben felhasználtuk az MFGI földi mágneses, légi mágneses, gravitációs, paleomágneses és mélyfúrási adatait, valamint a CELEBRATION litoszférakutató projekt (Guterch et al. 2000, Bodoky et al. 2001) néhány szelvényét. Az adatgyűjtéseket, a feldolgozások egy részét és a megjelenítéseket az intézetben (ELGI, MFGI) folyó „Bauxitkutatás légi geofizikai mérésekkel, 1990”, „Litoszférakutatás, 2001”, „Állami geofizikai adatszolgáltatás, informatika, térképezés 2010”, „Pretercier aljzattérképezés és mélyszerkezet-kutatás, 2012”, „Mélyföldtani kutatások geofizikai módszerekkel, 2016” című projekt keretében végeztük. Köszönet illeti tehát az MFGI-t, mert adatok, kutatási projektek és infrastruktúra nélkül ez a tanulmány sem készülhetett volna el.

A tanulmány szerzői

Kiss János, Vértesy László, Gulyás Ágnes

Hivatkozások

Balogh K., Jámor Á., Partényi Z., Ravaszné Baranyai L., Solti G. (1982): A dunántúli bazaltok K/Ar radiometrikus kora. Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése, 1980, 243–259

Balogh, K., Árva-Sós, E., Pécskay, Z., Ravaszné Baranyai, L. (1986): K/Ar dating of post-Sarmatian alkali basaltic rocks in Hungary. *Acta Mineralogica et Petrographica*, Szeged 28, 75–94

Bodoky T., Brueckl E., Fancsik T., Hegedűs E., Posgay K. (2001): Szervezőbizottság és munkacsoport: CELEBRATION 2000 – nagyszabású ezredzáró projekt a litoszférakutatásban. *Magyar Geofizika* 42/1, 15–21

Borsy Z., Balogh K., Kozák M., Pécskay Z. (1986): Újabb adatok a Tapolcai-medence fejlődéstörténetéhez. *Acta Geographica Debrecina* 23, 79–104

Dagley P. and Ade-Hall J. M. (1970): Cretaceous Tertiary and Quaternary paleomagnetic results from Hungary. *Geophysical Journal Royal Astronomical Society* 20, 65–87

Guterch A., Grad M., Keller G. R., Posgay K., Vozar J., Spicak A., Brueckl E., Hajnal Z., Thybo H., Selvi O. (2000): CELEBRATION 2000: Huge seismic experiment in Central Europe. *Geologica Carpathica* 51/6, 413–414

Gyalog L., Síkhgyi F. (sorozatszerk.) (2005): Magyarország földtani térképe, M = 1:100 000. A Magyar Állami Földtani Intézet kiadványa, Budapest, <https://map.mfgi.hu/fdt100/>

Haas J., Budai T., Csontos L., Fodor L., Konrád Gy. (2010): Magyarország pre-kainozoos földtani térképe, 1:500000. Magyar Állami Földtani Intézet kiadványa

Haáz I., Komáromy I. (1966): Magyarország földmágneses térképe, a függőleges térerősség anomáliái. M = 1:500 000-es nyomtatott térkép. Eötvös Loránd Geofizikai Intézet kiadványa

Kilényi É., Šefara J. (1991): Pre-Tertiary Basement Contour Map of Carpathian Basin Beneath Austria, Czechoslovakia and Hungary. *Geophysical Transactions* 36/1–2

Kiss J. (2009): Gravitációs és mágneses feldolgozások és modellezések a földtani környezet megismerése céljából. PhD értekezés, NyME Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola, Sopron, p. 129

Kiss J. (2013): Magyarországi geomágneses adatok és feldolgozások: spektrálanalízis és térképi feldolgozások. *Magyar Geofizika* 54/2, 89–114

Kiss J. (2015): A Pannon-medence geomágneses anomáliái és a mélyfúrással feltárt bázisos földtani képződmények kapcsolata. *Magyar Geofizika* 56/1, 21–42

Kiss J. (2016): A gravitációs és mágneses anomáliák átfogó értelmezése a Kárpát-Pannon-régióban. *Földtani Közöny* 146/3, 275–298

Kiss J., Gulyás Á. (2006): Magyarország mágneses ΔZ anomáliatérképe, M=1:500 000-es nyomtatott térkép. ELGI-kiadvány

Kiss J., Prácer E. (2016): Szelvény mentén végzett adatfeldolgozási eljárások – hatókijelölés, frekvenciaszűrés és mélységfókuszálás – alkalmazása a CEL08 vonalon. *Magyar Geofizika* 57/2, 69–87

Kiss J., Vértesy L., Gulyás Á., Madarasi A. (2015): Tisia – a geofizikai adatok tükrében. TISIA Konferencia kiadványa, pp. 25–28, ISBN 978-963-8221-56-8

Kiss J., Vértesy L., Madarasi A., Gulyás Á., Detzky G., Paszera Gy., Deák V. Zs., Pataky P., Rádi K., Redlerné Tárai M., Bujdosó É., Budai T. (2012): Jelentés, 2. 7. Pretercier aljzattérképezés és mélyszerkezet-kutatás 2012. évi eredményei, Kézirat, ELGI Adattár p. 57

Kiss J., Zelenka T. (2009): Geological features, geophysical measurements and interpretation at the Telkibánya research area. In: *Geosciences, Telkibánya Geology, Proceedings of the University of Miskolc, Series A, Mining, Vol. 78*

Márton E. (1985): Tying the basalts the Transdanubian Cenral mountains (Hungary) to the standard polarity time scale. In: Kretzoi M., Pécsi M. (eds): *Problems of the neogene and quaternary in the Carpathian Basin. Geological and geomorphological studies: Contribution to the VIIth Congress of the Regional Committee on Mediterranean Neogene Stratigraphy*, Budapest, Akadémiai Kiadó, p. 128

Márton E., Márton P. (1989): A compilation of paleomagnetic results from Hungary. *Geophysical Transactions* 35/1–2, 117–133

Márton P. (2004): A paleomágneses (földmágneses) időskála. *Magyar Tudomány* 2004/7, 738–741

Márton P., M. Szalay E. (1967): Paleomágneses vizsgálatok hazai bazaltközeteken. *Magyar Geofizika* 8/2–3, 67–76

Nabighian M. N. (1972): The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics* 37/3, 507–517

Nabighian M. N., (1974): Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. *Geophysics* 39/1, 85–92

Pántó G. (1976): Ásvány és kőzet. Műszaki Könyvkiadó, Budapest

Posgay K. (1962): A magyarországi mágneses hatók áttekintő térképe és értelmezése. *Geofizikai Közlemények* 11/1–4, 77–99

- Posgay K. (1966a): A magyarországi földmágneses hatók áttekintő vizsgálata. Kandidátusi értekezés, MFGI Geofizikai Szakkönyvtár
- Posgay K. (1966b): A magyarországi földmágneses hatók áttekintő-térképe, M = 1:500 000. Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet kiadványa
- Posgay K. (1967): A comprehensive survey of geomagnetic masses in Hungary. *Geophysical Transactions* 16/4, 1–118
- Ravasz Cs., Kovács J. (1977): Földtan II. (Ásvány és kőzetan). Műszaki Könyvkiadó, Budapest, p. 427
- Takács E. (1976): Geofizika I, Tankönyvkiadó, Budapest
- Zelenka T. (1994): A telkibányai ércesedés vulkanotektonikus jellemzői [Volcano-tectonical characteristics of the mineralised region at Telkibánya, Tokaj Mts, NE-Hungary]. *Top. Min. Hung.* 2, 81–86
- Zelenka T., Gyarmati P., Kiss J. (2012): Paleovolcanic reconstruction in the Tokaj Mountains. *Central European Geology* 55/1, 49–84, doi: 10.1556/CEuGeol.55.2012.1.4